UNIVERSITAS INDONESIA

KONTRIBUSI BUTON NATURAL ASPHALT PADA KARAKTERISTIK MEKANIK ASPAL BETON DALAM KONDISI TERENDAM

TESIS

HUSNUL FIKRI
0906579885

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM PASCA SARJANA
DEPOK
JUNI, 2011

UNIVERSITY OF INDONESIA

CONTRIBUTION OF BUTON NATURAL ASPHALT ON MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONRETE IN SUBMERGED CONDITION

THESIS

HUSNUL FIKRI
0906579885

ENGINEERING FACULTY
POSTGRADUATE PROGRAM
DEPOK
JUNE, 2011

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

263/FT.01/TESIS/07/2011

UNIVERSITAS INDONESIA

KONTRIBUSI BUTON NATURAL ASPHALT PADA KARAKTERISTIK MEKANIK ASPAL BETON DALAM KONDISI TERENDAM

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Magister Teknik

HUSNUL FIKRI
0906579885

PROGRAM PASCA SARJANA
PROGRAM STUDI TRANSPORTASI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI, 2011

263/FT.01/TESIS/07/2011

UNIVERSITY OF INDONESIA

CONTRIBUTION OF BUTON NATURAL ASPHALT ON MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONRETE IN SUBMERGED CONDITION

THESIS

Proposed for once of prerequisite of Master of Engineering

HUSNUL FIKRI
0906579885

ENGINEERING FACULTY
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
TRANSPORTATION PROGRAM
DEPOK
JUNE, 2011

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya sendiri,

dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

telah saya nyatakan dengan benar

Nama	**:**	**Husnul Fikri**
NPM	**:**	**0906579885**
Tanda Tangan	**:**	
Tanggal	**:**	**30 Juni 2011**

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

STATEMENT OF ORIGINALITY

This thesis is the result of my own work,
and for all sources that quoted or referred
I have declared it correctly

Name	**: Husnul Fikri**
Student Number	**: 0906579885**
Signature	**:**
Date	**: June 30, 2011**

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh	:
Nama	: Husnul Fikri
NPM	: 0906579885
Program Studi	: Transportasi, Teknik Sipil
Judul Tesis	: Kontribusi Buton Natural Asphalt pada Karakteristik Mekanik Aspal Beton Dalam Kondisi Terendam

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Unversitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

1. Ketua Sidang : Ir. Heddy R. Agah, M Eng. (.....)
2. Pembimbing : Dr. Ir. Sigit Pranowo Hadiwardoyo, DEA. (.....)
3. Ir. R. Jachrizal Sumabrata, PhD. (.....)
4. Ir. Alan Marino, MSc. (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 30 Juni 2011

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

APPROVAL STATEMENT

This Thesis had proposed by :

Name	: Husnul Fikri
NPM	: 0906579885
Study Program	: Civil Engineering
Title	: Contribution of Buton Natural Asphalt on Mechanical Characteristics of Asphalt Concrete In Submerged Condition

Had been presented successfully to Lecture Assessor and had approved as a part of requirement to get Master Engineering Degree on Civil Engeneering, Transportation Postgraduate Program, Engineering Faculty, University of Indonesia.

Board of Examiners

1. Chairman : Ir. Heddy R. Agah, M.Eng. (.....)
2. Adviser : Dr. Ir. Sigit Pranowo Hadiwardoyo, DEA. (.....)
3. Ir. R. Jachrizal Sumabrata, M.Eng. PhD. (.....)
4. Ir. Alan Marino, MSc. (.....)

Defined in : Depok
Date : June 30, 2011

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

KATA PENGANTAR

Puji syukyur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknil Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

(1) Dr. Ir. Sigit Pranowo Hadiwardoyo, DEA. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan penulisan tesis ini.

(2) Prof. Dr. Ir. Irwan Katili, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

(3) Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA. selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Material serta teknisi yang telah memberikan bantuan selama melakukan penelitian.

(4) Staf Pengajar dan Karyawan/i Departemen Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu, dukungan dan bantuan selama mengikuti studi.

(5) Kepala Departemen Pekerjaan Umum Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta beserta staf, yang telah memberi bantuan dan izin untuk menggunakan fasilitas laboratorium selama melakukan pengujian.

(6) Keluarga, terutama Ibu (alm), Ayah, Kakak, Adik dan Istri tercinta, beserta Anak-anak tersayang yang tak henti-hentinya memberikan bantuan, dorongan dan motivasi untuk menyelesaikan studi ini.

(7) Teman-teman dan kerabat yang tak bisa Penulis sebutkan semuanya.

Akhir kata saya berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2011

Penulis

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

HALAM PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Husnul Fikri
NPM : 0906579885
Program Studi : Transportasi, Tenik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya tulis : 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 : **Kontribusi Buton Natural Asphalt pada Karakteristik Mekanik Aspal Beton Dalam Kondisi Terendam.** Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, megelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin 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 : Juni 2011
Yang menyatakan

(Husnul Fikri)

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

ABSTRAK

Nama : **Husnul Fikri**

Pragram Studi : Transportasi, Teknik Sipil

Judul : Kontribusi Buton Natural Asphalt pada Karakteristik Mekanik Aspal Beton Dalam Kondisi Terendam

Konstruksi perkerasan jalan di Indonesia seringkali mengalami kerusakan akibat pengaruh jalan terendam. Kondisi permukaan jalan terendam diakibatkan oleh sistem drainase buruk. Kerusakan pada lapis permukaan disebabkan menurunnya kekuatan struktur campuran aspal oleh beban kendaraan dan adanya air di permukaan. Pada penelitian ini Buton Natural Asphalt (BNA) ditambahkan pada campuran Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) yang menggunakan aspal penetrasi 60/70.

Penambahan BNA 25% terhadap aspal optimum AC-WC selanjutnya disebut AC-WC Modifikasi dilakukan berbagai pengujian dalam kondisi kering dan terendam air. Analisis dilakukan untuk mengkaji karakteristik mekanik Stabilitas Marshall, Modulus Resilien dan Stabilitas Dinamis dengan menggunakan alat uji *Marshall, Umata*, *Wheel Tracking Machine* dan *Scan Electronic Microscope.*

AC-WC Modifikasi telah menunjukkan kinerja peningkatan nilai Stabilitas Marshall 11.35 %. Berdasarkan uji perendaman Marshall (Marshall Immersion) diperoleh Indek Kekuatan Sisa meningkat sebesar 2.71%. Modulus resilen (MR) meningkat 6.55% dalam kondisi terendam dan pada kondisi beban standar terjadi peningkatan sangat signifikan yaitu 32.59 %. Hasil uji deformasi permanen menunjukan laju deformasi 14.44 % lebih kecil dari pada campuran aspal AC-WC dengan indeks Penetrasi 60/70.

Kata Kunci : Campuran aspal beton, Buton Natural Asphalt, Perendaman, Modulus Resilien, Stabilitas Dinamis.

ABSTRACT

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Name : **Husnul Fikri**
Postgraduate of study : Transportation, Civil Engineering
Title : Contribution of Buton Natural Asphalt on Mechanical Characteristics of Asphalt Concrete In Submerged Condition

Construction of road pavement in Indonesia are often damaged due to the influence of submerged roads. Submerged road surface conditions caused by poor drainage system. Damage to the surface layer due to decreased structural strength of asphalt concrete mixture by weight of the vehicle and the presence of water on the surface. In this study Buton Natural Asphalt (BNA) was added to the mixture Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) using bitumen 60/70 penetration index.

BNA addition of 25% of the optimum asphalt AC- WC called AC-WC Modifications carried out various tests in dry conditions and submerget. The analysis conducted to assess the mechanical characteristics of Marshall Stability, Resilient Modulus and Dynamic Stability using Marshall test, Umata test, Wheel Tracking Machine and Scan Electronic Microscope.

AC-WC Modifications have shown performance enhancement Marshall Stability value of 11.35%. Based on the Marshall Immersion test obtained Marshall Index of Retained Strength increased by 2.71%. Resilient Modulus (MR) 6.55% increase in submerged conditions and at standard load conditions occur very significant increase of 32.59%. Permanent deformation test results showed the rate of deformation of 14.44% smaller than the asphalt mixture AC-WC with 60/70 penetration index.

Keywords: Asphalt Concrete Mixtures, Buton Natural Asphalt, Submerged, Resilient Modulus, Dynamic Stability.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS ii
LEMBAR PENGESAHAN iv
KATA PENGANTAR vi
LEMBER PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH vii
ABSTRAK viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR LAMPIRAN xvii
DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI xviii

1. **PENDAHULUAN 1**
   1.1. Latar Belakang Permasalahan 1
   1.2. Perumusan Masalah 4
   1.3. Tujuan Penelitian 6
   1.4. BatasanMasalah 7
   1.5. Kerangka Pemikiran 8
   1.6. Hipotesa 9
   1.7. Manfaat Penelitian 9

2. TINJAUAN LITERATUR 10
   2.1 Pengantar 10
   2.2 Kajian Pustaka 10
   2.3 Campuran Beraspal 20
   2.4 Material Campuran Beraspal 23
      2.4.1 Aspal 23
      2.4.2 Agregat 27
         2.4.2.1 Agregat Kasar 28
         2.4.2.2 Agragat Halus 29

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

2.4.2.3 Filler 29
2.5 Gradasi Agregat 30
2.6 Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak 32
2.7 Modulus Kekakuan campuran Beraspal 34
2.8 Deformasi Permanen 35
2.9 Pengujian campuran Beraspal 36
2.9.1 Pengujian Marshall 36
2.9.2 Pengujian Indek Marshall Sisa (IKS) 37
2.9.3 Pengujian Marshal Modifikasi 38
2.9.4 Pengujian Modulus Resilient dengan Beban Berulang 38
2.9.5 Pengujian Wheel Tracking 39
2.9.6 Pengujian Perubahan Struktur Campuran dengan SEM 42

3. METODE PENELITIAN 45
3.1 Umum 45
3.2 Rencana Penelitian 45
3.3 Pengujian Material 48
3.3.1 Pengujian Aspal 48
3.3.2 Pengujian Agregat 49
3.4 Gradasi Agregat 49
3.5 Perencanaa Campuran Metoda Marshall Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak 51
3.6 Pengujian Marshall Immersion 55
3.7 Pengujian Terendam Dalam Air 56
3.8 Pengujian Modulus Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Modulus*), Beban Berulang Dengan Alata Umata 57
3.9 Pengujian Wheel Tracking 60
3.10 Pengujian Visualisasi Mikro Capuran Aspal Beton 62

4. DATA DAN ANALISA 66
4.1 Karakteristik Material 66

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

4.1.1 Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70 66
4.1.2 Pengujian Sifat Fisik dan Karakteristik Agregat 70
4.2 Perencanaan Campuran dan Pengujian Marshall AC-WC 73
4.2.1 Pengujian Marshall AC-WC Aspal Penetrasi 60/70 74
4.2.2 Karakteristik Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi (75% Pen 60/70 + 25% BNA) 81
4.3 Indek Kekuatan Marshall Sisa (*Marshall Index of Retained Strength*) 84
4.4 Pengaruh Air dan Beban Awal Terhadap Campuran AC-WC PEN 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi 86
4.4.1 Pengujian dengan Alat Marshall Modifikasi..... 86
4.4.2 Hasil Pengujian Marshall Standar Terhadap Benda Uji Marshall Modifikasi 93
4.4.3 Pengujian dengan Alat Umata 99
4.5 Kinerja Ketahanan Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi 111
4.6 Visualisasi Mikro Campuran AC-WC 119

5. KESIMPULAN DAN SARAN 128
5.1 Kesimpulan 128
5.2 Saran 131

DAFTAR REFERENSI ……...……..132

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (Lapisan Aspal Beton) 22
Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Dimodifikasi (*AC-Modified*) 23
Tabel 2.3 Karakteristik Aston BNA *Blend* dengan Ratio: 75/25 26
Tabel 2.4 Persyaratan Aspal Keras Pen 40 dan Pen 60 27
Tabel 2.5 Ketentuan Agregat Kasar 28
Tabel 2.6 Ketentuan Agregat Halus 29
Tabel 2.7 Titik Kontrol Kurva Fuller dan Daerah Larangan Campuran AC-WC 32

Tabel 3.1 Pengujian Aspal Penetrasi 60/70 48
Tabel 3.2 Pengujian dan Standar Agregat Kasar 49
Tabel 3.3 Pengujian dan Standar Agregat Halus 49
Tabel 3.4 Rancangan Gradasi Laston AC-WC 50
Tabel 3.5 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO Marhall 53
Tabel 3.6 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan VIM*Ref* 55
Tabel 3.7 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan IKS 55
Tabel 3.8 Jumlah Benda Uji Pembebanan dan Terendam Dalam Air 57
Tabel 3.9 Jumlah Benda Uji *Indirect Tensile Modulus* 60
Tabel 3.10 Rekapitulasi Kebutuhan Benda Uji 65

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70 66
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Viscositas Aspal Penetrasi 60/70 67
Tabel 4.3 Karakteristik Aston BNA Blend dengan Ratio: 75/25 68
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat. 70
Tabel 4.5 Hasil Analisis Marshall Campuran AC-WC PEN 60/70 74
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Marshal pada KAO*Mr* 5.9% 82
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Marshall Immersion. 84
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Marshall Standart Terhadap Benda Uji yang Telah

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Mengalami Pengujian Marshall Modifikasi..... 94
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Campuran AC-WC PEN 60/70 dengan UMATA 99
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Campuran AC-WC Modifikasi dengan Umata 100
Tabel 4.11 Analisis Data Uji Umata Sesuai Beban Rencana Campuran
AC-WC PEN 60/70 Pengaruh Beban 101
Tabel 4.12 Analisis Data Uji Umata Sesuai Beban Rencana Campuran
AC-WC Modifikasi Pengaruh Beban 102
Tabel 4.13 Analisisa Selisih Modulus Resilien Campuran AC-WC
Pen 60/70 Campuran AC-WC Modifikasi 106
Tabel 4.14 Analisa hasil Pengujian Umata Pengaruh Waktu Pembebanan
Dalam Kondisi Terendam 107
Tabel 4.15 Selisih Nilai Modulus Resilien Pengaruh Waktu Perendaman 108
Tabel 4.16. Hasil pengujian dengan Whell Tracking 111
Tabel 4.17. Selisih Deformasi Pengujian Whell Tracking..... 114
Tabel 4.18. Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan 116
Tabel 4.19 Hasil Perubahan Regangan Tarik Sepanjang Lintasan 117

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lubang pada jalan 1
Gambar 1.2 Ruas Jalan yang Rusak dan Berlubang 2
Gambar 1.3 Kerangka Pemikiran 8
Gambar 2.1 Variabel-variabel terbentuknya Pothole 11
Gambar 2.2 Tipikal temperatur destilasi minyak bumi dan produk yang dihasilkannya (The Asphalt Institute, 1983) 24
Gambar 2.3 Ilustrasi Detail Ikatan Aspal dalam Campuran 25
Gambar 2.4 Ilustrasi Beban Vertikal Tegak Lurus Diameter Roda 35
Gambar 2.5 Ilustrasi Reaksi Perlawanan Terhadap Beban Lalu lintas 35
Gambar 2.6 Alur (Rutting) pada Permukaan Jalan 40
Gambar 2.7 Hubungan Waktu dan Deformasi 41
Gambar 2.7 Contoh Gambar SEM 42
Gambar 2.9 Skema Pantulan Alat SEM 43
Gambar 2.10 Perbedaan gambar dari sinyal elektron sekunder dengan *backscattered* 44
Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian 46
Gambar 3.1 Kurva Gradasi Laston AC-WC 51
Gambar 3.3 Alat Uji Marshall 54
Gambar 3.4 Alat Pemadat Getar Benda Uji PRD 54
Gambar 3.5 Peralatan Pengujian Modulus Resilient dengan UTM 59
Gambar 3.6 A,B,C, Peralatan Pengujian Well Tracking 61
Gambar 3.7 Skema Kerja alat SEM 63
Gambar 3.8 Pantulan Sinyal-sinyal Alat SEM 63
Gambar 3.9 Pengambilan Gambar dengan alat Scanning Electron Microscope (SEM) 64
Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Viscosimeter Saybolt Furol dan Temperatur 67
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Marshall dan Kepadatan Mutlak

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Laston AC-WC Pen 60/70 77
Gambar 4.3 Barchart Penentuan Kadar Aspal Optimum 77
Gambar 4.4 Indeks Kekuatan Sisa Campuran AC-WC Modifikasi Dan Campuran AC-WC Pen 60/70 82
Gambar 4.5 Nilai Stabilitas Campuran AC-WC Modifikasi dan Campuran AC-WC PEN 60/70 85
Gambar 4.6 Karakteristik Stabilitas Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Perendaman 30 menit, variasi beban 75,150, dan 225 Kg 87
Gambar 4.7 Karakteristik Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Perendaman 30 menit, Variasi beban 75,150, dan 225 Kg 87
Gambar 4.8 Karakteristik Stabilitas Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi,Perendaman 60 menit, Variasi Beban 75,150, dan 225 Kg..... 89
Gambar 4.9 Karakteristik Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Perendaman 60 menit, Variasi Beban 75,150, dan 225 kg 90
Gambar 4.10 Karakteristik Stabilitas Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi,Perendaman 90 menit, Variasi Beban 75,150, dan 225 Kg 91
Gambar 4.11 Karakteristik Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Perendaman 90 menit, Variasi Beban 75,150, dan 225 kg 92
Gambar 4.12 Karakteristik Stabilitas Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi 94
Gambar 4.13 Kelelehan Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Modifikasi BNA, setelah uji Marshall Modifikasi 96
Gambar 4.14 Kelelehan Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Modifikasi BNA, setelah uji Marshall Modifikasi 96
Gambar 4.15 Kelelehan Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, setelah uji Marshall Modifikasi 97

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Gambar 4.16 Pengaruh Beban Terhadap Stabilitas 98
Gambar 4.17 Perubahan Regangan Terhadap Beban dan Waktu Perendaman Marshall Modifikasi 103
Gambar 4.18 Perubahan Tegangan Terhadap Beban dan Waktu Perendaman 104
Gambar 4.19 Perubahan Modulus Resilien Terhadap Beban dan Waktu Perendaman 105
Gambar 4.20 Perubahan Regangan Pengaruh Waktu 108
Gambar 4.21 Perubahan Modulus Resilien Akibat Waktu Rendaman 109
Gambar 4.22 Perubahan Deformasi Sepanjang Lintasan 112
Gambar 4.23 Evolusi Selisih Deformasi 114
Gambar 4.24 Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan 117
Gambar 4.25 Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan 117
Gambar 4.26 Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan (Gabungan) 118
Gambar 4.27 Perubahan Regangan Sepanjang Lintasan 119
Gambar 4.28 Benda Uji Campuran AC-WC Modif BNA Kondisi Pembebanan Sampai Runtuh (Uji Marshall), Skala 100 : 1 120
Gambar 4.29 Benda Uji Campuran AC-WC Modifikasi Kondisi Pembebanan Sampai Runtuh (Uji Marshall), Skala 200 : 1 121
Gambar 4.30 Benda Uji Campuran AC-WC Modifikasi Kondisi Pembebanan Sampai Runtuh (Uji Marshall), Skala 500 : 1 121
Gambar 4.31 Benda Uji Campuran AC-WCModif BNA Skala 500 : 1 122
Gambar 4.32 Benda Uji Campuran AC-WC PEN 60/70 Skala 500 : 1 123
Gambar 4.33 Benda Uji Campuran Modif AC-WC BNA Skala 1000 : 1 124
Gambar 4.34 Benda Uji Campuran AC-WC PEN 60/70 Skala 1000 : 1 124
Gambar 4.35 Benda Uji Campuran AC-WCModifikasi (Hasil Pengujian Marshal Modifikasi, Beban 5% Terendam 90 menit), Skala 500 : 1 125
Gambar 4.36 Benda Uji Campuran AC-WCModifikasi (Hasil Pengujian Marshal Modifikasi, Beban 5% Terendam 90 menit), Skala 1000 : 1 126

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran :

A. Analisa Data Pengujian Marshall

B. Analisa Pengujian Kepadatan Mutlak

C. Data Pengujian Marsall Pen 60/70 dan Modifikasi BNA

D. Data Pengujian Stabilitas dan Deformasi Marshal Modifikasi

D.1 Campuran Pen 60/70 dan Modifikasi BNA (Beban dan Rendam 30 Menit)

D.2 Campuran Pen 60/70 dan Modifikasi BNA (Beban dan Rendam 60 Menit)

D.3 Campuran Pen 60/70 dan Modifikasi BNA (Beban dan Rendam 90 Menit)

E. Hasil Pengujiaan dengan Alat Umata :

E.1 Hasil uji Variasi Beban dan Waktu campuran Pen 60/70
(Benda uji setelah dilakukan pengujian Marshall modifikasi)

E.2 Hasil uji Beban Standar (3000 N) campuran Pen 60/70

E.3 Hasil uji Variasi Beban dan Waktu campuran modifikasi BNA
(Benda uji setelah dilakukan pengujian Marshall modifikasi)

E.4 Hasil uji Beban Standar (3000 N) campuran Modifikasi BNA

F. Hasil Pengujian Wheel Tracking

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

DAFTAR SINGKATAN DAN NOTASI

SINGKATAN	KEPANJANGAN
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AC	Asphalt Concrete
AC-Base	Asphalt Concrete Base
AC-BC	Asphalt Concrete Binder Course
AC-WC	Asphalt Concrete Wearing Course
AC-Modified	Asphalt Concrete Modified
AC-WC Modifikasi	Asphalt Concrete Wearing Course ((Campuran Aspal Pen 60/70 (75%) + BNA (25%) sebagai pengikat))
ASTM	American Society for Testing material
BNA	Bitumen Natural Ashpalt
BNA Blend	Campuran Aspal Pen 60/70 (75%) + BNA (25%)
BS	British Standard
CA	Coarse Aggregate
DSR	Dynamic Shear Rheometer
FA	Fine Aggregate
FF	Fine Filler
IKS	Indeks Kekuatan Marshall Sisa
KAO	Kadar Aspal Optimum
KAO_{Mr}	Kadar Aspal Optimum Marshall
KAO_{Ref}	Kadar Aspal Optimum Refusal
Laston	Lapis Aspal Beton
MQ	Marshall Quotient (Hasil Bagi Marshall)
PRD	Percentage Refusal Density
RTFOT	Rolling Thin Film Oven Test
SNI	Standar Nasional Indonesia
SSD	Surface Saturated Dry
TFOT	Thin Film Oven Test

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

UMATA	Universal Material Testing Apparatus
VFB	Voids Filled with Bitumen (rongga terisi aspal)
VIM	Voids in Mixture (rongga dalam campuran)
VIM_{Ref}	VIM pada kondisi Refusal
VMA	Voids in Mineral Aggregates (rongga udara didalam agregat)

NOTASI

C_b & C_v	Konsentrasi Volume Aspal & Konsentrasi Volume Agregat
C_v'	Konsentrasi Volume Agregat Koreksi
E	Modulus Kekakuan
G_b	Berat jenis aspal
G_{mb}	Berat jenis padat (*Bulk*) campuran
G_{mm}	Berat jenis maksimum campuran
G_{sb}	Berat jenis padat (*Bulk*) agregat gabungan
G_{se}	Berat jenis efektif agregat
kPa	Kilo Pascal
MPa	Mega Pascal
M_R	Modulus Resilien
P_b	Perkiraan Kadar Aspal Optimum
Pi	Penetrasi awal aspal
PI	Penetration index
PIr	Recovered penetration index
Pr	Recovered penetration pada suhu 25^oC
T	Temperatur
t	Waktu Pembebanan
Va & Vb	Volume agregat & Volume aspal
$VIM_{6\%}$	Rongga dalam campuran sebesar 6% hasil uji Marshall
μ	Poisson's Ratio
μm	Mikro meter
σ_d	Tegangan deviator
$\varepsilon_{(r)}$	Regangan yang mampu pulih
ε_r	Regangan tarik

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam kurun waktu belakangan ini konstruksi jalan perkerasan lentur atau jalan aspal di Indonesia berkembang berbagai isu, antara lain tidak tercapainya umur rencana konstruksi jalan akibat kerusakan dini. Faktor penyebab yang dipandang berpengaruh terhadap kerusakan antara lain beban lulu lintas, berat kendaraan serta faktor eksternal lainnya terutama genangan air yang sering dijumpai pada berbagai ruas jalan.

Hampir semua jalan di kota Bandung dan kota-kota lain di Indonesia menggunakan campuran agregat (batu pecah) dan aspal. Musuh utama aspal adalah air, karena air bisa melonggarkan ikatan antara agregat dengan aspal. Kerusakan yang umum terjadi di jalan-jalan dalam kota adalah adanya air yang menggenangi permukaan jalan (Sonny Sulaksono, ITB News Mei 2010). Pada saat ikatan aspal terhadap agregat longgar karena air, ada kendaraan yang lewat memberi beban dan merusak ikatan permukaan jalan tersebut. Tipikal kerusakan perkerasan jalan karena pengaruh air adalah lubang. Sekali lubang terbentuk, maka air akan tertampung di dalamnya, sehingga lobang yang semula kecil dapat membesar dengan cepat, seperti Gambar 1.1

Gambar 1.1 Lubang pada Jalan

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Sesungguhnya ketika jalan didesain, perkerasan jalan tersebut harus kuat terhadap beban lalu lintas yang akan melaluinya. Umur rencana lima tahun umumnya diterapkan untuk jalan baru. Jalan yang rusak karena beban biasanya bercirikan retak dan adakalanya disertai dengan amblas.

Gambar 1.2 Ruas Jalan yang Rusak dan Berlubang

Kinerja perkerasan jalan yang tinggi, akan berhubungan dengan ketahanan konstruksi dan bahan pembentuk perkerasan terhadap kerusakan yang mungkin terjadi. Secara fungsional terdapat bermacam-macam jenis kerusakan yang dapat mempengaruhi kinerja konstruksi jalan, salah satunya adalah kerusakan *stripping* akibat pengaruh terendam air, seperti yang dijelaskan dalam SNI 6753-2008. Adalagi masalah yang dihadapi pada beberapa ruas jalan, dimana jalan tersebut tidak dilengkapi dengan sistem drainase yang mencukupi atau drainase yang ada tidak berfungsi menurut semestinya, sementara curah hujan pada siklus penghujan diberbagai wilayah di Indonesia dapat lebih besar dari 100 milimeter per hari (Republika, 2010), sehingga genangan air banyak ditemui dimuka jalan yang mengakibatkan jalan rusak dan berlobang, sebagaimana yang terlihat pada gambar 1.1

Sungguhpun demikian perkerasan lentur masih tetap menjadi pilihan yang lebih ekonomis sampai saat ini, disisi lain perkiraan akan keterbatasan pengadaan aspal minyak semakin sulit, sehubungan minyak mentah *(crude oil)* yang menghasilkan aspal keras harus diimpor dan diproses di Indonesia, Menurut Sarana Karya,1986 Indonesia salah satu negara yang memiliki cadangan asbuton

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

yang terdapat di pulau Buton mencapai 163,9 juta ton dengan kadar aspal bervariasi mulai dari 10 sampai 35%. Pemakaian terbanyak pada tahun 1982 sebanyak 482,978 ton, dan menurut perkiraan untuk keperluan jalan raya tidak akan habis selama 300 tahun, *(La Hanafi 2010)*.

BNA (*Buton Natural Asphalt*), adalah hasil pemurnian Asbuton dengan kadar bitumen 55-60% yang memungkinkan hal-hal positif dari Asbuton dapat dioptimalkan. Bitumen yang dikenal luas berkualitas unggul dan bersifat instan yang mampu membentuk komposit dengan aspal minyak, menghasilkan kualitas bitumen yang lebih tinggi. Bitumen BNA mempunyai titik lembek dan daya edhesi tinggi akan menaikan stabilitas dinamis campuran dan mengurangi kemungkinan reveling, Kandungan filler *hydrophobic* dalam jumlah yang optimal serta tersebar merata dalam BNA akan membentuk mastic aspal yang kuat dan lebih kedap air diharapkan menaikan ketahanan campuran terhadap pengaruh negative air. (*Aston Adhi Jaya,2010*)

Berdasarkan fenomena tersebut di atas, perlu dikaji mengenai karakteristik mekanik campuran perkerasan lapis atas aspal keras (AC-WC) yang berhubungan langsung dengan beban lalu lintas dan genangan air dikala hujan bahkan air limpahan dari saluran drainase yang tidak berfungsi. Kajian dalam penelitian ini khususnya sifat Marshall dan Nilai Struktural (modulus kekakuan dan deformasi permanen) serta bentuk fisik atau molekuler secara mikro mekanis dari campuran aspal beton yang dibebani tanpa direndam dan terendam dalam air.

Proses pengujian yang dilakukan dilaboratorium, mengggunakan agregat lokal dan Aspal keras (aspalt beton/AC) penetrasi 60/70 serta modifikasi aspal keras penetrasi 60/70 (75 %) dicampur dengan Buton Natural Asphalt (BNA) (25 %) sebagai bahan pengikat. Pengujian dan penelitian ini diharapkan dapat memodelkan kenyataan sesungguhnya yang dialami konstruksi jalan dilapangan. Oleh karena itu diperlukan beberapa peralatan uji yang dapat mensimulasikan input berbagai macam masukan untuk menjawab permasalahan yang telah diuraikan diatas. *Tools* utama yang dipilih dalam penelitian tersebut adalah dengan menggunakan peralatan; Marshall standar, Marhall modifikasi, UMATTA (*Universal Material Testing Aparatus, Well Trackking Macchine* (WTM) dan SEM *(Scan Electronic Microscope).*

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Dengan diketahui kinerja dan karakteristik campuran, maka dapat dilakukan langkah-langkah yang lebih baik dalam proses pelaksanaan maupun perencanaan campuran material untuk perkerasan lentur, sesuai dengan kondisi alam dan lokasi jalan yang akan dibangun atau direhabilitasi.

1.2. Perumusan Masalah

Didasarkan pada latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas, perlu untuk merumuskan permasalahan yang diteliti agar penelitian ini memiliki batas eksplorasi pembahasan.

1.2.1. Deskripsi Masalah

Banyaknya ruas jalan diperkotaan yang terendam air pada saat musim hujan sementara beban lalu lintas semakin padat dilalui oleh kendaraan ringan maupun berat, mengakibat banyak jalan rusak dan berlobang.

Indikasi yang mempengaruhi dan yang memberikan konstribusi cepatnya jalan rusak sebelum sampai umur rencana, antara lain adalah akibat banyaknya ruas jalan yang digenangi air diatas permukaan jalan dan akibat pembebanan yang berlebihan.

Air adalah salah satu musuh aspal, karena air bisa melonggarkan ikatan antara agregat dengan aspal. Kerusakan yang umum terjadi di jalan-jalan dalam kota adalah adanya air yang menggenangi permukaan jalan. Pada saat ikatan aspal dan agregat longgar karena genangan air serta terjadinya deformasi plastis yang diakibatkan kendaraan yang lewat dan akan memberi beban pada perkerasan jalan, sehingga akan merusak ikatan perkerasan tersebut dan permukaan jalan pada akhirnya. Tipikal kerusakan karena pengaruh air adalah lubang. Sekali lubang terbentuk maka air akan tertampung di dalamnya sehingga dalam hitungan minggu lubang yang semula kecil dapat membesar dengan cepat. Itulah sebabnya kerusakan jalan sering dikatakan bersifat eksponensial terhadap waktu, (Sonny Sulaksono, 2010)

Sementa ini perkerasan lentur masih tetap menjadi pilihan yang lebih ekonomis sampai saat ini, disisi lain perkiraan akan keterbatasan pengadaan aspal minyak semakin sulit, sehubungan minyak mentah *(crude oil)* yang menghasilkan

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

aspal beton harus diimpor. Justru itu, dengan penambahan BNA sebagai bahan pengikat dalam campuran, adalah salah satu solusi alternatif untuk mengurangi pemakaiaan aspal minyak impor.

1.2.2. Signifikansi Masalah

Indikasi yang mempengaruhi dan yang memberikan konstribusi cepatnya jalan rusak sebelum sampai umur rencana antara lain adalah akibat banyaknya ruas jalan yang digenangi air diatas permukaan jalan dan akibat pembebanan yang berlebihan.

Target hasil penelitian dari proses pengujian di laboratorium dapat memodelkan kenyataan sesungguhnya yang dialami konstruksi jalan dilapangan, serta bagaimana pengaruh pembebanan tanpa direndam dan dalam kondisi terendam air terhadap kinerja serta karakteristik, khususnya sifat Marshall dan Nilai Struktural (modulus kekakuan dan deformasi permanen) serta bentuk fisik atau molekuler secara mikro mekanis perkerasan lentur, yang menggunakan campuran aspal beton Pen 60/70 dan aspal modifikasi ((aspal beton Pen 60/70 (75 %) + Bitumen Natural Aspal (25 %)) sebagai bahan pengikat.

Pengujian menggunakan alat uji sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh instansi terkait, maupun peralatan modifikasi yang dapat mensimulasikan kondisi dilapangan seperti pengujian benda uji terendam dalam air dengan menggunakan perlatan Marshall modifikasi.

1.2.3. Rumusan Masalah

Dengan mengacu pada deskripsi dan signifikasi masalah, maka ditentukan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakterisktik Marshall campuran aspal beton Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) ?
2. Bagaimana karakterisktik mekanis campuran aspal beton Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) terendam air dalam periode waktu yang berbeda (0.5 jam; 1 jam; 1.5 jam) akibat beban berulang?

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

3. Berapa nilai Modulus Resilient campuran aspal beton Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) terendam air dalam periode waktu yang berbeda (0.5 jam; 1 jam; 1.5 jam) akibat dibebani uji Marshall modifikasi, dan tanpa tanpa dibebani sebelumnya.?
4. Bagaimanakah karakteristik Deformasi Permanen campuran aspal beton Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %)?
5. Seperti apa betuk visualisasi mikro campuran aspal beton Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) sebelum dibebani, dibebani dalam kondisi terendam dan dibebani sampai stabilitas maksimum uji Marshall ?

1.3. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengkaji karakterisktik Marshall campuran aspal Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %). Mengukur, membandingkan dan mengevaluasi karakterisktik mekanik campuran aspal beton Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) yang dibebani secara berulang dalam kondisi terendam air dengan variasi beban dan waktu yang berbeda.
2. Mengukur, membandingkan dan mengevaluasi nilai Modulus Resilient campuran aspal beton Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) setelah dikasih pembebanan terendam dalam air dan tanpa dibebani sebelumnya.
3. Mengkaji dan membandingkan karakteristik Deformasi Permanen campuran aspal beton penetrasi 60/70 dan aspal beton Pen 60/70, dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %).
4. Mengamati dan mengevaluasi visualisasi mikro campuran aspal beton Pen 60/70, dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) sebelum dibebani, dibebani dalam kondisi terendam dan dibebani sampai stabilitas maksimum uji Marshall (beban runtuh)

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

1.4. Batasan Penelitian

Agar proses penelitian dan analisanya fokus ke pokok permasalahan, maka ditentukan sejumlah batasan masalah, yaitu:

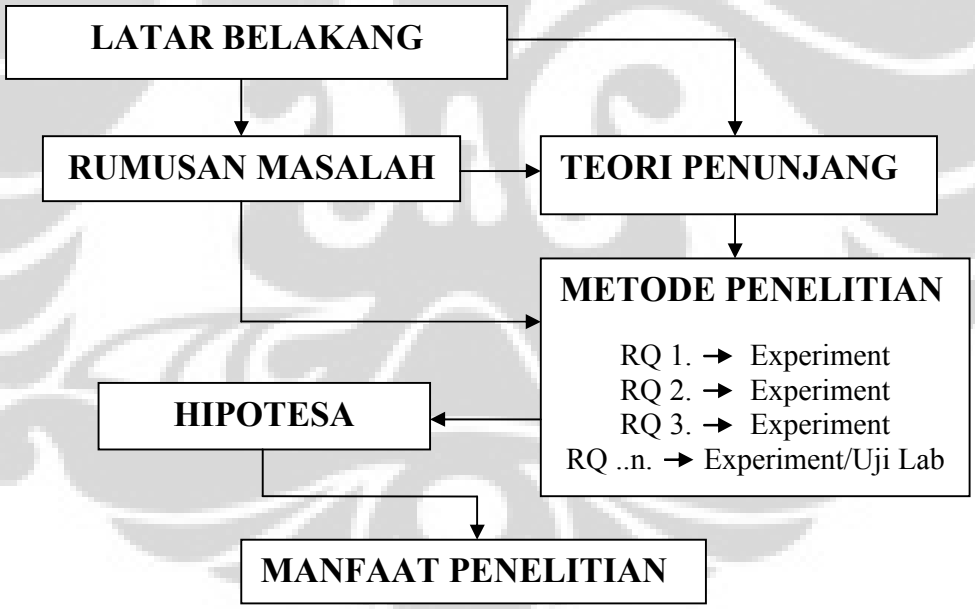
1. Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Material Departemen Sipil, Laboratorium Metalurgi (pengujian SEM) Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok dan untuk pengujian Umata dengan Whell Tracking dilakukan di UPT. Pusat Pengukuran, Pengujian dan Penelitian (PPPP) Departemen Pekerjaan Umum Daerah Khusus Ibukota Jakarta.
2. Pencampuran benda uji aspal beton menggunakan Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak Standart Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, tahun 2008. Prosedur pengujian mengacu kepada SNI (Standar Nasional Indonesia), yang dilengkapi dengan ASTM (American Society for Testing and Material), AASHTO (*American Asociation Of State Highway and Transportation Officials*), dan *Britis Standar* (BS), *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement - Japan Road Association, JRA* (1980).
3. Agregat; kasar, sedang dan halus diambil dari hasil pengolahan batu (stone cruser) AMP milik PT. Hutama Prima Bogor
4. Bahan aspal menggunakan Aspal Cevron Penetrasi 60/70 ex Singapura dan BNA (Buton Natural Aspal) berasal dari Produksi PT Aston Adhi Jaya.
5. Perencanaan Campuran Aspal Beton menggunakan Metode Marshal dan Pendekatan Kepadatan Mutlak untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari Lapis Aspal Beton (Laston) AC-WC.
6. Gradasi campuran yang digunakan dalam penelitian ini, adalah gradasi Fuller campuran AC-WC.
7. Air untuk merendam digunakan air hujan yang mengandung pH 5.6
8. Penelitian ini fokus pada pengujian laboratorium dengan menggunakan alat Marshall, Marshal modifikasi (pengujian variasi pembebanan dan waktu perendaman), UMATTA (*Universal Material Testing Aparatus),* Well Tracking Machine (WTM) yang berorientasi pada campuran aspal Pen 60/70 dan modifikasi BNA.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

9. Menganalisa visualisai campuran secara micro, dilakukan dengan menggunakan alat Scan Electronic Microscope (SEM) untuk mengkaji tentang karakteristik campuran aspal beton Pen 60/70, dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %).
10. Penelitian terhadap perubahan sifat kimia material tidak dilakukan, serta analisa biaya tidak diteliti.

1.6 Kerangka Pemikiran

Didasarkan pada latar belakang, perumusan masalah, serta kajian pustaka tentang campuran AC-WC Pen 60/70 dan campuran AC-WC modifikasi, dapat disusun kerangka pemikiran dari penelitian ini seperti Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Kerangka Pemikiran

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

1.6 Hipotesa

Berdasarkan kerangka pemikiran tersebut selanjutnya disusun hipotesis dari penelitian ini sebagai berikut :

"Dengan melakukan pengujian dan penelitian tentang Karakteristik Mekanik campuran Aspal Beton Pen 60/70, dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) dalam kondisi tidak terendam maupun terendam dalam air, maka proses perendaman dan pembebanan awal berdampak pada karakteristik kinerja campuran".

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah :

1. Hasil penelitian campuran AC-WC dengan menggunakan Aspal modifikasi campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %), diharapkan bermanfaat bagi para perencana perkerasan untuk mencari alternatif perencanaan perkerasan apabila lokasi jalan sering mengalami banjir atau terendam air serta pembebanan yang berlebihan.
2. Para perencana, pelaksana, maupun aparatur pengambil kebijakan dapat memahami serta mengambil keputusan yang lebih tepat sasaran tentang pembangunan, perawatan maupun rehabilitasi jalan untuk perkerasan lentur (*flexible pavement*), dengan menggunakan campuran aspal modifikasi sebagai bahan pengikat.
3. Dengan adanya knstribusi BNA (aspal alam Indonesia) kedalam campuran aspal minyak sebagai bahan pengikat, berarti sejalan dengan program pemeritah untuk meningkatkan penggunaan produk dalam negeri.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

BAB 2
TINJAUAN LITERATUR

2.1. Pendahuluan

Penyebab kerusakan jalan yang dipengaruhi proses luar antara lain; banjir atau genangan air, bencana alam, terjadinya penggalian perkerasan untuk keperluan utilitas (seperti galian instalasi listrik, telepon, saluran air), tidak berfungsinya drainase, kelebihan beban muatan kendaraan dan pelaksanaan pekerjaan di lapangan tidak sesuai dengan aturan yang semestinya. Jalan yang ada tidak didesain tahan terhadap genangan air, akibatnya setiap musim penghujan banyak ditemui jalan-jalan yang semula kondisinya baik menjadi berlubang, ikatan campuran perkerasan terlepas dan berserakan pengaruh beban lalu lintas dan genangan air, seiring dengan meningkatnya arus lalu lintas barang dan orang, mengakibat umur layan jalan menjadi lebih pendek dan kerusakan banyak ditemui di sepanjang jalan, (Tjitjik, 2008).

Lapis Beton Aspal Lapis Asus (AC-WC), merupakan lapisan yang paling atas dari struktur perkerasan. Permukaan perkerasan berhubungan langsung dengan beban roda kendaraan, temperatur serta genangan air bila terjadi hujan. Ciri AC-WC mempunyai tekstur lebih halus dari berbagai jenis laston lainnya seperti Lapis Pengikat (AC-BC) dan Lapis Pondasi (AC-Base).

Dalam penelitian ini, menggunakan campuran aspal beton Pen 60/70 dan campuran aspal beton Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) sebagai bahan pengikat pada lapisan aus (Wearing Course). Aspal BNA diharapkan mampu bersinergi dengan aspal Penetrasi 60/70 untuk meningkatkan stabilitas terhadap beban lalu lintas dan pengaruh air, sehingga dapat menlindungi lapisan konstruksi dibawahnya.

2.2. Kajian Pustaka

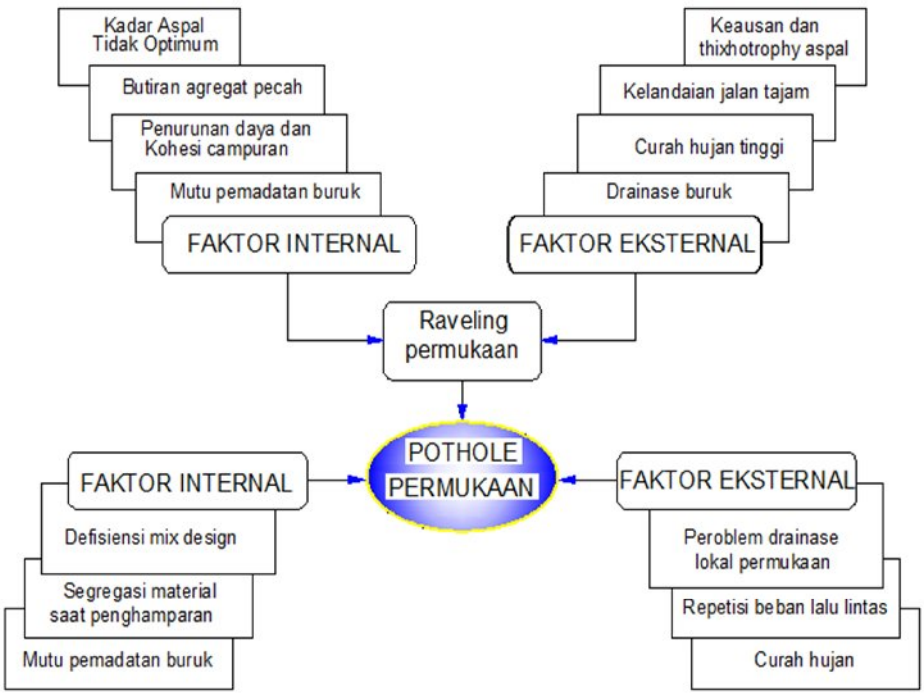
Kerusakan pengaruh pembebanan dan air dapat berbentuk; lobang *(potholes)*, pelepasan butir *(raveling),* pengelupasan (*striping).* Menurut (Heddy R Agah 2010), kerusakan jalan berlobang ini dapat mengakibatkan permukaan jalan tidak rata. Kerusakan kendaraan akibat berjalan didaerah berlobang dapat

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011. Universitas Indonesia

berakibat fatal khususnya bagi kendaraan dengan kecepatan tinggi, terjadinya kecelakaan akibat menghindari lobang atau terperosok kedalam lobang tersebut.

Menurut Watanatada *et al*., 1987), *Pothole* merupakan peristiwa disintegrasi permukaan perkerasan yang berupa lubang-lubang pada permukaan yang memiliki diameter lebih besar 150 mm dan kedalaman lebih dari 25 mm yang biasanya terjadi pada suatu ruas jalan yang melayani repetisi beban lalu lintas kendaraan berat yang cukup padat. Sedangkan B.C. *Ministry of Transportation* (2007) mendefinisikan *pothole* sebagai rongga di permukaan perkerasan yang berbentuk *bowl* dengan berbagai ukuran yang berjarak menyebar 5 meter satu sama lain, (Agus Taufik Mulyono, 2008)

Variabel-variabel yang mengelompok membentuk *Pothole* seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.1. Variabel-variabel terbentuknya Pothole
Sumber, Agus Taufik Mulyono, 2008

Beberapa faktor internal yang menyebabkan terjadinya *pothole* permukaan perkerasan, antara lain: (i) defisiensi *mix design* beton aspal, kadar aspal yang

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

tidak optimum dan beberapa ukuran butiran agregat yang tidak memenuhi spesifikasi teknis sehingga banyak rongga udara yang besar dan berpeluang menjadi lubang ketika dirembesi air dan didesak repetisi beban lalu lintas (B.C. *Ministry of Transportation,* 2007); dan (ii) terjadinya segregasi susunan bahan pada saat penghamparan beton aspal yang dibarengi dengan penurunan suhu penghamparan sehingga ketepatan mutu pemadatan tidak tercapai (Paterson, 1987.a & 1987.b dalam Scott *et al*., 2004). Faktor eksternal yang menyebabkan terjadinya *pothole* permukaan perkerasan, antara lain: (i) problem drainase lokal permukaan yang terjadi pada suatu spot (luasan kecil) karena air limpasan yang menggenang, selanjutnya infiltrasi ke dalam lapisan perkerasan dan merusak ikatan aspal terhadap agregatnya, yang semula kecil dan dangkal berkembang menjadi besar dan dalam, yang disebut lubang (B.C. *Ministry of Transportation,* 2007); (ii) curah hujan menghasilkan air limpasan yang besar yang mampu infiltrasi ke dalam lapisan perkerasan melalui rongga-rongga udara yang tersisa dari proses pemadatannya, air yang merembes tersebut mempercepat proses pelepasan butiran dari kelompoknya selanjutnya membentuk lubang (Watanatada *et al.*, 1987 dalam Gedafa, 2006); dan (iii) repetisi beban lalu lintas kendaraan berat dapat memperparah kecenderungan perluasan lobang permukaan perkerasan ketika infiltrasi air hujan mencapai konstruksi perkerasan (Watanatada *et al.*, 1987 dalam Gedafa, 2006). Seperti halnya *cracking* dan *ravelling*, *potholes* tidak terjadi langsung pada awal umur pelayanan jalan, biasanya didahului dengan terjadinya *cracking, ravelling* dan *rutting* bersamaan dengan repetisi beban lalu lintas dan infiltrasi air hujan maka terbentuklah lubang-lubang pada permukaan perkerasan, (Agus Taufik Mulyono, 2008)

Asphalt concrete salah satu jenis perkerasan lentur yang umum digunakan di Indonesia, merupakan suatu lapisan pada jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Pembuatan Lapis Aspal Beton (LASTON), dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara (binder) pada perkerasan jalan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya, (Bina Marga, 1987).

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Dalam X. Lu, U. Isacsson, 1999. Reologi adalah ilmu yang mempelajari deformasi dan aliran bahan, baik dalam bentuk cair, meleleh, atau bentuk padat, dalam hal elastisitas bahan dan viskositas. Bitumen adalah bahan viskoelastik yang dapat memperlihatkan salah satu perilaku elastis atau kental, atau kombinasi keduanya, ini tergantung pada suhu pengamatan aspal. Sifat reologi pengikat aspal secara signifikan mempengaruhi kinerja campuran aspal selama pencampuran, pemadatan dan dalam masa pelayanan. Untuk itu berbagai jenis pengujian *rheological* material sering termasuk dalam spesifikasi bahan pengikat. Sifat reologis bitumen ditentukan oleh interaksi kekuatan molekul, yang pada gilirannya tergantung pada komposisi kimia. Pada prinsipnya, sifat reologi yang diinginkan dapat dicapai aspal dengan mengubah komposisi kimia dengan menggunakan bahan aditif atau modifikasi reaksi kimia.

Penelitian kinerja perkerasan(Von Quintus dkk,1991.) Telah menunjukkan bahwa rongga udara berkisar 3-5 persen, yang diinginkan dalam campuran beton aspal adalah untuk kinerja perkerasan yang lebih baik. Sementara pengurangan rongga udara lebih kecil dari 3 persen menyebabkan aliran plastis berlebihan karena mekanisme pembebanan dan temperatur. Adanya rongga udara lebih dari 6 persen atau lebih tinggi akan terjadi permeabilitas air kedalam campuran perkerasan, sehingga dapat mengurangi ketahanan. Jadi, rongga udara dalam campuran harus berada pada nilai optimum selama masa layanan.

Kemal Nesnas dan Mike Nunn, Kemampuan memprediksi penyebaran tegangan dan regangan yang dihasilkan, tergantung dari modulus kekakuan tiap lapisan. Biasanya modulus kekakuan diasumsikan didominasi oleh perilaku elastis tetapi bukan untuk material aspal. Pada temperatur sangat rendah aspal menjadi getas sehingga asumsi elastis dapat diterima. Namun pada suhu tinggi didominasi oleh *viscous*, sehingga cenderung terjadi deformasi permanen pada *pavement*. Modulus kekakuan dipengaruhi oleh tegangan (σ), temperatur (T), regangan plastis (ε^{p}) yang merupakan kombinasi dari kelelehan plastis dan *creep* plastis dan faktor kerusakan yaitu rasio dari perbedaan antara material yang rusak dan tidak rusak., Hubungan dengan modulus kekakuan untuk aspal sebagai berikut:

1. pengurangan kekakuan menghasilkan kelelehan plastis.
2. kekakuan bertambah sebanding dengan pertambahan laju pembebanan.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

3. bertambahnya kelelehan plastis pada temperatur *pavement* yang lebih tinggi.
4. terjadinya *creep* plastis tergantung dari tegangan dan temperatur.
5. akumulasi kerusakan.

Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, campuran AC-WC ini terdiri dari agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Temperatur pencampuran maupun pemadatan ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Sedangkan yang dimaksud dengan gradasi menerus adalah komposisi agregat menunjukan pembagian butir yang merata, mulai dari ukuran yang terbesar sampai dengan yang terkecil. Beton aspal dengan campuran bergradasi menerus memiliki komposisi yang terdiri dari agregat; kasar, halus, filler atau mineral pengisi serta aspal (bitumen) sebagai bahan pengikat. Struktur agregat yang saling mengunci (*interlocking*), merupakan hal yang penting untuk memperoleh kekuatan dari perkerasan beton aspal, dengan demikian akan menghasilkan geseran internal yang tinggi dan saling melekat bersama lapis tipis aspal diantara butiran agregat.

Penyebab kerusakan jalan bukan hanya kelebihan muatan atau fenomena alam, tetapi juga konstruksi jalan yang tidak memenuhi standar. Melalui penelitian Agus Taufik, (2008) penyebab dari kerusakan jalan 44 % diakibatkan konstruksi jalan yang tidak memenuhi standar, kerusakan lain cukup besar adalah sistem pengendalian air (drainase) sebesar 44% yang seringkali menyebabkan banjir. Sedangkan kerusakan jalan yang diakibatkan kelebihan muatan hanya 12 % saja.

Kerusakan akibat kelembaban dapat dipahami sebagai kerusakan progresif campuran aspal oleh hilangnya adhesi antara pengikat aspal dan permukaan agregat atau kehilangan kohesi karena aksi air. Kerusakan kelembaban sering langsung mengganggu integritas campuran, sehingga dapat mengurangi umur kinerja perkerasan. Kerusakan termasuk retak kelelahan, deformasi permanen (*rutting*) dan *cracking thermal* yang terjadi dalam beton aspal. Dalam beberapa kasus ketika jalan tidak dibebani, kelembaban mungkin hanya cukup melemahkan campuran aspal dengan pelunakan atau sebagian pengemulsi-an film aspal tanpa mengeluarkan aspal dari permukaan agregat. Hal tersebut menimbulkan

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

berkurangnya kekakuan atau kekuatan, namun masih *reversibel* (dapat balik) ketika air keluar dari campuran. Ketika jalan dibebani selama kondisi lemah, bagaimanapun kerusakan cepat terjadi, dan ikatan campuran *ireversibel* (tidak dapat kembali lagi seperti semula), *Qing Lu, 2005*.

Mekanisme kerusakan pada perkerasan aspal beton adalah sebuah fenomena kompleks, dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk sifat material, komposisi campuran, kondisi drainase perkerasan, beban lalu lintas, dan karakteristik lingkungan. Kondisi yang diperlukan pertama untuk kerusakan pengaruh air adalah masuknya air ke campuran aspal beton. Jika perkerasan aspal kedap air, kerusakan kelembaban jarang akan terjadi, kecuali beberapa *raveling* permukaan. Pada kenyataannya, sistem rongga udara ada di semua jenis laston, (Huang dan Qian 2001).

Secara konvensional dinilai apabila campuran padat, kelebihan *rutting* dan *bleeding* biasanya terjadi jika udara rongga udara kurang dari tiga persen. Pengujian laboratorium, rongga dalam campuran biasanya dirancang berisikan 4 persen (yang disarankan oleh Terrel et al. (1994), namun kenyataannya berkisar antara 6 dan 12 persen. Pengujian laboratorium menunjukkan bahwa di atas kisaran 4 %, rongga udara menjadi saling berhubungan dan kelembaban dapat mengalir keluar dengan mudah, sementara di kisaran 4%, rongga udara terputus dan relatif kedap, air dapat masuk ke rongga tetapi tidak bisa lepas bebas. Kekosongan ini menyediakan akses utama untuk air, yang mungkin datang dari curah hujan, irigasi, atau air tanah, masuk ke dalam campuran beton aspal. *void* dalam agregat juga dapat menjebak beberapa kelembaban selama konstruksi karena pengeringan tidak sempurna, *Qing Lu, 2005*.

Pada beton aspal, kohesi digambarkan sebagai integritas keseluruhan dari material saat mengalami pembeban. Hal ini ditentukan terutama oleh daya tarik dalam pengikatan aspal dan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti viskositas dari film aspal. Uap air dapat mengubah reologi aspal dan mengurangi kohesi melalui emulsifikasi secara spontan, emulsi tetesan air terbalik dalam film aspal. Hal ini telah diamati oleh beberapa peneliti. Fromm (1974) slide kaca direndam dilapisi dengan dua mils film aspal dalam air dan mengamati pembentukan bahan kecoklatan pada permukaan aspal, dia menemukan emulsi air dalam aspal di-

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

amati dengan mikroskop. Dia juga mengamati bahwa setelah pembentukan emulsi menembus ke *substrat*, terdapat ikatan perekat antara aspal dan agregat yang rusak.

Williams (1998), sampel aspal yang direndam dalam air pada 60 °C selama 6 dan 27 minggu dan diamati di bawah mikroskop elektron scanning lingkungan (ESEM) yang kedalaman yang menembus air meningkat dari 183 menjadi 278 μm lebih dari 21 minggu. Usaha yang dilakukan dalam Kontrak SHRP A-002A berspekulasi bahwa aspal memiliki kemampuan menggabungkan dan mengangkut air berdasarkan molekul polar air tertarik ke kutub komponen aspal (Robertson 1991)

Daya tarik antara film aspal dan permukaan agregat didefinisikan sebagai adhesi. Air dapat menghancurkan adhesi melalui dua mekanisme; yaitu (i) dengan cara pemisahan aspal dari permukaan agregat oleh air tanpa henti yang ada dalam aspal, sedangkan (ii) perpindahan adalah pengangkatan aspal dari agregat ke permukaan air. Pemisahan atau perpindahan dapat dijelaskan oleh teori energi antarmuka dan atau teori reaksi kimia. Teori energi antarmuka menganggap adhesi sebagai fenomena termodinamika terkait dengan energi permukaan bahan yang terlibat. Alam akan selalu bertindak untuk mencapai kondisi minimum total energi bebas. Kebanyakan agregat memiliki permukaan bermuatan listrik. Aspal yang merupakan campuran lebih berat dari molekul hidrokarbon dan sebagian kecilnya dari *heteratoms* (misalnya, nitrogen, oksigen dan sulfur) dan logam (misalnya, vanadium, nikel, dan besi), memiliki sedikit aktivitas kutub. Menurut Stuart 1990, air di sisi lain mempunyai polaritas tinggi. Dengan demikian, dalam sebuah sistem agregat-aspal-air, air dapat menggantikan aspal dari sebagian permukaan agregat, karena air lebih mampu mengurangi energi bebas antarmuka, untuk membentuk suatu kondisi stabil secara termodinamika energi bebas minimum antarmuka, *Qing Lu,* 2005.

Teori reaksi kimia menjelaskan fenomena pelepasan dan perpindahan dari perspektif yang lain. Penelitian tentang komposisi kimia aspal dan agregat telah menunjukkan bahwa kedua bahan dapat membentuk ikatan kimia, seperti ikatan *kovalen* (Plancher et al. 1977).

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Ketika air datang ke dalam kontak dengan permukaan agregat, serangkaian hidrolis lambat laun proses dekomposisi dimulai, yang dapat mengubah pH lapisan air di sekitarnya dengan beberapa unit (Scott 1978;. Nguyen et al 1996). Perubahan pH air dapat mengubah jenis gugus polar teradsorpsi oleh agregat, serta ionisasi / disionisasi, yang mengarah ke penumpukan bermuatan negatif, lapisan ganda listrik pada agregat dan permukaan aspal akan memisahkan aspal dari agregat (Scott 1978; Tarrer 1986).

Mencuci agregat kasar dapat meringankan masalah lubang pori, karena lubang kecil terjadi ketika permukaan agregat terkontaminasi oleh debu atau tanah liat. (Fromm 1974; Balghunaim 1991). (Yoon (1987), juga mengamati fenomena ini dan melakukan tes dalam air mendidih, hasilnya campuran menjadi longgar. Tidak ada metode lain yang ditemukan untuk mencegah fenomena ini. Osmosis adalah difusi air melalui membran aspal (Mack 1964). Hal ini diasumsikan terjadi karena adanya larutan garam dalam pori-pori agregat yang menyebabkan tekanan osmotik, *Qing Lu,* 2005.

Asbuton merupakan bahan alam yang terjadi berjuta juta tahun yang lalu, terjadinya asbuton berawal dari adanya minyak bumi yang kemudian terdestilasi secara alamiah karena adanya intrusi magma. Bagian - bagian yang ringan dari minyak bumi telah menguap, residu yang berupa bitumen terdesak mengisi lapisan batuan yang ada disekitarnya melalui patahan dan rekahan (Qomar, 1996).

Madi Hermadi (2009), melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan asbuton butir tipe 20/25 terhadap karakteristik beton aspal campuran panas. Penelitian tersebut dilakukan dengan melakukan penambahan asbuton butir sebanyak 0%, 4%, 7% dan 10% ke dalam campuran beraspal panas kemudian diuji karakteristiknya. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa penambahan asbuton butir dapat mempengaruhi sifat campuran beraspal panas seperti bahan pengikat, kepadatan, rongga (*VMA, VIM, VFB*), stabilitas *Marshall*, pelelehan, perbandingan *Marshall*, dan stabilitas dinamis. Berdasarkan hasil analisa korelasi parsial, masing-masing sifat ini satu sama lain memiliki korelasi yang signifikan.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Penggunaan asbuton butir dengan ukuran maksimum 2,36 mm dan minimum 95% nya (terhadap berat) lobos saringan no. 16 (1,18 mm), dalam campuran beraspal panas, tidak ditambah bahan peremaja, namun dicampur langsung dengan agregat dan aspal minyak (Pusjatan, 2006).

Pada penggunaan asbuton butir dalam campuran beraspal sekarang ini, dianggap aspal pada asbuton bisa keluar seluruhnya, dan mineral dari butiran asbuton tersebut terlepas satu sama lain, serta menyebar secara merata dalam campuran. (Pusjatan, 2006).

Furqon Affandi (2009,) melakukan penelitian tentang sifat campuran beraspal panas dengan asbuton butir tipe 5/20. Pada penelitiannya Furqon Affandi menambahkan asbuton butir sebanyak 5% dengan kadar aspal 5%-7%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran beraspal panas dengan asbuton butir mempunyai stiffness dan ketahanan deformasi yang lebih tinggi, tetapi mempunyai ketahanan terhadap kohesi dan stripping yang lebih rendah, lebih rapuh (*brittle*), umur kelelahan (*fatigue*) yang lebih pendek, dan sifat ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) akibat peningkatan tegangan yang lebih sensitif, dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal minyak pen 60.

Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-89 atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar dari metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelehan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk (Sukirman, 2003)

BNA (*Buton Natural Asphalt*) adalah hasil pemurnian Asbuton dengan kadar bitumen 55-60% yang memungkinkan hal-hal positif dari Asbuton dapat dioptimalkan. Bitumen yang dikenal luas berkualitas unggul dan bersifat instan yang mampu membentuk komposit dengan aspal minyak, menghasilkan kualitas bitumen yang lebih tinggi. Bitumen BNA mempunyai titik lembek dan daya edhesi tinggi akan menaikan stabilitas dinamis campuran dan mengurangi kemungkinan reveling. Kandungan *filler hydrophobic* dalam jumlah yang optimal serta tersebar merata dalam BNA akan membentuk mastic aspal yang kuat dan lebih kedap air diharapkan menaikan ketahanan campuran terhadap pengaruh

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

negativ air. Menurut Wikipedia.org, dalam kimia *hydrophobic* adalah molekul yang dikenal sebagai *hydrophobe* maksudnya ditolak dari massa air. Dengan karakteristik tersebut, BNA cocok digunakan sebagai *modifier* aspal minyak. Kandungan mineral yang relative lebih rendah, BNA dapat digunakan sampai 25 % dalam campuran aspal, sehingga memungkinkan penyerapan Asbuton bisa lebih tinggi, sejalan dengan program pemerintah untuk terus meningkatkan penggunaan Asbuton. (*Aston Adhi Jaya 2010),*

Rizal Tamin, ITB, dalam penelitiannya menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Melakukan pengujian dengan cara :(1) mendeteksi titik lemah yang ada pada beton dan sejauh mana kontribusinya kepada inisiasi keretakan mikro dan propagasinya, (2) mempelajari lebih lanjut pengaruh fenomena susut pada pasta semen dan karaktristik agregat yang menghambatnya terhadap terbentuknya retak mikro tanpa pembebanan, (3) mempelajari pengaruh keretakan internal yang terjadi terhadap kekuatan tekan beton. Penelitian sepenuhnya dilakukan di laboratorium dengan melakukan pengujian dan observasi terhadap benda-benda uji dengan bantuan alat Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mendeteksi titik-titik lemah beton, alat pengukur susut, gelombang ultrasonic untuk mendeteksi propagasi retak, dan Universal Testing Machine untuk pengujian tekan. Hasil penelitian ini memperkuat pernyataan bahwa daerah lemah yang utama pada beton adalah rongga-rongga (voids) dan interface antara agregat dengan matriks semen. Pada beton yang dibuat dengan menggunakan agregat yang porous daerah lemah ini juga terletak pada pori-pori agregat. Semakin banyak daerah lemah semakin rendah pula kekuatan mekanik beton. Seperti yang diperlihatkan oleh hasil percobaan, fenomena susut matriks semen yang tertahan oleh agregat memegang peranan penting pada inisiasi keratakan mikro di daerah lemah. Susut yang besar mengakibatkan keretakan mikro yang lebih banyak dan mempunyai kecenderungan mengurangi kekuatan mekanik beton pada saat mengalami pembebanan. Kesimpulan selanjutnya dari hasil percobaaan adalah bahwa keruntuhan beton berawal dari keretakan.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

2.3. Campuran Beraspal

Campuran beraspal adalah campuran yang terdiri dari kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal, sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam (SNI 6753-2008).

Pengertian atau jenis campuran beraspal tentang Laston (Lapisan Aspal Beton/AC) adalah lapis permukaan disebut juga istilah (AC-WC). Laston Lapis Permukaan Antara (AC-BC) dan Laston Lapis Fondasi (AC-Base). Dari tiga jenis campuran (AC) tersebut menggunakan ukuran maksimum masing-masing campuran adalah 19 mm, 25 mm, 37.5 mm. Setiap jenis campuran *Asphalt Contrete* (AC) yang menggunakan bahan aspal penetrasi atau aspal dimodifikasi dengan asbuton atau aspal multigrade atau aspal keras Pen 60 atau Pen 40 yang dicampur dengan asbuton butir, masing-masing disebut sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*, (Departemen Pekerjaan Umum, 2008).

Dalam penelitian ini, menggunakan campuran jenis Lapis Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) modifikasi antara aspal Pen 60/70 (75 %) dengan Buton Natural Asphalt (BNA) (25 %), yang diharapkan mampu bersinergi untuk meningkatkan stabilitas terhadap beban lalu lintas dan pengaruh air, sehingga dapat menlindungi lapisan konstruksi dibawahnya dan memperpanjang umur layan konstruksi jalan tersebut. Lapis beton aspal adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan mempunyai nilai struktural yang pertama kali dikembangkan di Amerika oleh *The Aspahalt Instite* dengan nama *Asphalt Concrete* (AC).

Menurut (Sukirman 2007) Lapis Aspal Beton (Laston) adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Karena dicampur dalam keadaan panas maka sering disebut sebagai beton aspal campuran panas (HMA)

Karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran beton aspal (Sukirman, S, 2007) antara lain:

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

a. Stabilitas

Stabilitas perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur maupun bleeding.

Parameter dari stabilitas adalah nilai stabilitas campuran, nilai kelelehan (flow) yang diperoleh dari pengujian Marshall kepadatan campuran.

b. Durabilitas (keawetan/daya tahan)

Durabilitas atau keawetan dari suatu perkerasan lentur merupakan kemampuan untuk menahan keausan akibat pengaruh suhu, cuaca, air ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Parameter durabilitas adalah VIM (Void In Mix) dan VMA (Void In Mineral Aggregate).

c. Fleksibilitas (kelenturan)

Fleksibilitas adalah kemampuan dari suatu perkerasan lentur untuk mengikuti deformasi yang berulang akibat beban lalu lintas tanpa terjadi keretakan. Parameter fleksibilitas adalah MQ (Marshall Quotient) yang merupakan hasil perbandingan antara stabilitas dan flow.

d. Tahanan Geser /kekesatan (*skid resistance)*

Tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan untuk menghindari terjadinya slip atau tergelincir, baik di waktu hujan atau basah maupun di waktu kering.

e. Ketahanan terhadap kelelahan *(fatique resistance)*

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan lapis aspal beton menerima beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak dan alur (ruting). Karakteristik ini dipengaruhi oleh VIM, VMA dan VFB *(Void Filled with Bitument)*.

f. Kedap air (*impermeabilitas)*

Kedap air atau impermeabilitas adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

g. Kemudahan pelaksanaan *(workability)*

Kemudahan dalam pelaksanaan adalah kemampuan campuran beton aspal untuk muda dihamparkan dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Karakteristik ini dipengaruhi oleh gradasi agregat dan kandungan bahan pengisi.

Karakteristik poin (a) sampai (g) diatas tidak selalu sejalan antara satu dengan yang lainnya. Justru itu diperlukan suatu perencanaan campuran, agar campuran beraspal yang dihasilkan punya nilai ekonomis dan dapat memenuhi ketujuh karakteristik penting tersebut secara berimbang (Yamin, 2002)

Kriteria dari jenis Campuran Beraspal, mengacu kepada persyaratan atau ketentuan sifat-sifat campuran Laston yang dikeluarkan oleh Dept. Pekerjaan Umum 2008, dapat dilihat dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (Lapisan Aspal Beton)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang 75 112 (1)		75	75	112
Rongga dalam campuran (VIM), %	Min	3.5		
	Max	5.5		
Rongga dalam Agregat (VMA), %	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1500
	Max	-		-
Pelelehan (mm)	Min	3		5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman 24 jam, 60 °C	Min	75		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepeadatan membal (*refusal*)	Min	2.5		

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2008

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Dimodifikasi(*AC-WC Modified*)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75	75	112
Rongga dalam campuran (%)	Min	3.5		
	Max	5.5		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	100		1800
	Max	-		-
Pelelehan (mm)	Min	3		5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	300		350
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman 24 jam, 60 C	Min	75		
Rongga dalam campuran (%)pada Kepeadatan membal (*refusal*)	Min	2.5		

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2008

2.4 Material Campuran Beraspal Panas

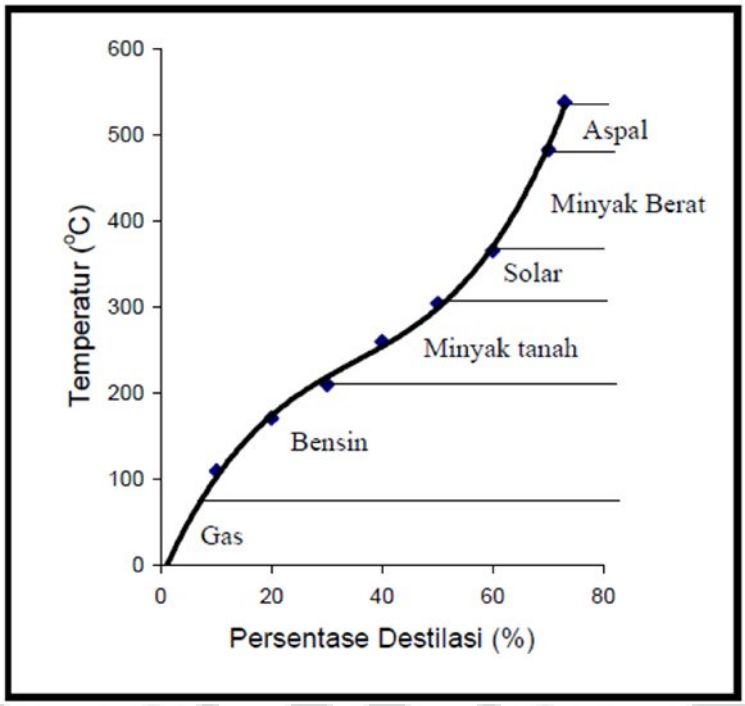
2.4.1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat (bersifat *viscous*) sampai semi padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak (bersifat *liquid*), sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton. Jika temperatur mulai turun, aspal mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya. Karena itulah aspal disebut bersifat *termoplastis*. (Sukirman, 1999).

Terbentuknya aspal keras melalui proses destilasi fraksi ringan yang terkandung dalam minyak bumi dipisahkan dengan destilasi sederhana hingga menyisakan suatu residu yang dikenal dengan nama aspal keras (*Asphalt Concrete*). Dalam proses destilasi ini, aspal keras baru dihasilkan melalui proses destilasi hampa pada temperatur sekitar 480 °C. Temperatur ini bervariasi tergantung pada sumber minyak mentah yang disuling atau tingkat aspal keras

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

yang akan dihasilkan. Ilustrasi skematik penyulingan minyak mentah dan produk-produk yang dihasilkannya seperti yang ditunjukan pada Gambar 2**.**



Gambar 2.2 Tipikal temperatur destilasi minyak bumi dan produk yang dihasilkannya (The Asphalt Institute, 1983)

Untuk menghasilkan aspal keras dengan sifat-sifat yang diinginkan, proses penyulingan harus ditangani sedemikian rupa sehingga dapat mengontrol sifat-sifat aspal keras yang dihasilkan. Hal ini sering dilakukan dengan mencampur berbagai variasi minyak mentah bersama-sama sebelum proses destilasi dilakukan. Pencampuran ini nantinya agar dihasilkan aspal keras dengan sifat-sifat yang bervariasi, sesuai dengan sifat-sifat yang diinginkan. Cara yang sering dilakukan untuk mendapatkan aspal keras dengan viskositas menengah adalah dengan mencampur beberapa jenis aspal keras dengan proporsi tertentu dimana aspal keras yang sangat encer dicampur dengan aspal lainnya yang kurang encer sehingga menghasilkan aspal dengan viskositas menengah. Selain melalui proses destilasi hampa dimana aspal dihasilkan dari minyak mentah dengan pemanasan dan penghampaan, aspal keras juga dapat dihasilkan melalui proses ekstraksi zat pelarut. Dalam proses ini fraksi minyak (bensin, solar dan minyak tanah) yang

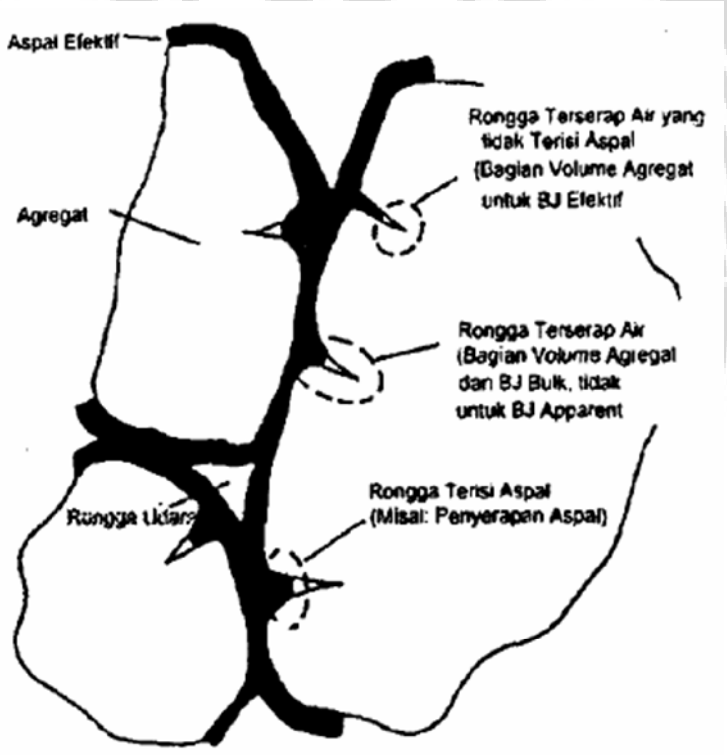
Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

terkandung dalam minyak mentah (*crude oil*) dikeluarkan sehingga meninggalkan aspal sebagai residu.

Bahan aspal sangat mempengaruhi sifat-sifat atau properties campuran beraspal itu sendiri (Kurniadji 2008), untuk memperoleh campuran beraspal yang memenuhi syarat, diperlukan aspal yang digunakan harus befungsi sebagai:

- Pengikat dan memberikan ikatan yang kuat antara butiran agregat didalam campuran beraspal.
- Sebagai pengisi, berfungsi mengisi rongga antara butir agregat dan rongga yang ada dalam butiran aggregate itu sendiri.
- Sebagai bahan anti air yang menyelimuti muka agregat, sehingga mengamankan perkerasan dari pengaruh air.
- Sebagai pelumas yang akan mempengaruhi kemudahan kerja (workability) saat pencampuran, penghamparan dan pemadatan pada jumlah dan kondisi tertentu.

Sebagai ilustrasi detail ikatan aspal dalam campuran seperti gambar berikut.



Gambar 2.3 Ilustrasi Detail Ikatan Aspal dalam Campuran

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Aspal penetrasi 40/50, 60/70 sudah umum digunakan di Indonesia, maka dalam penelitian ini jenis apal yang digunakan adalah aspal Pen 60/70 dimodifikasi dengan BNA (*Buton Natural Asphalt*) adalah hasil pemurnian Asbuton dengan kadar bitumen 55-60% yang memungkinkan hal-hal positif dari BNA dapat dioptimalkan. Bitumen BNA mempunyai titik lembek dan daya edhesi tinggi akan menaikan stabilitas dinamis campuran dan mengurangi kemungkinan reveling. Kandungan filler *hydrophobic* dalam jumlah yang optimal serta tersebar merata dalam BNA, akan membentuk mastic aspal yang kuat dan lebih kedap air diharapkan menaikan ketahanan campuran terhadap pengaruh negative air. Dengan karakteristik tersebut, BNA sangat cocok digunakan sebagai modifier aspal minyak. Kandungan mineral yang relative lebih rendah, BNA dapat digunakan sampai 25 % dalam campuran aspal, sehingga memungkinkan penyerapan Asbuton bisa lebih tinggi, (Aston Adhi Jaya, 2010).

Adapun spesifikasi yang harus dipenuhi oleh kedua jenis aspal, terlihat dalam Tabel 2.3 dan Tabel 2.3

Tabel 2.3 Karakteristik Aston BNA *Blend* dengan Ratio: 75/25

Parameter	Aspal minyak (Pen 60/70)	BNA	BNA BLEDN (75/25)	Spec. Binamarga (Aspal Alam Modifikasi)
Penetrasi @25 ^{0}C dlm mm	66	3	51	45 -55
Titik lembek,. ^{0}C	48	121	55.8	Min. 55
Daktilitas, Cm	140	1	62	Min. 50
Kelarutan - TCE, %-W		58.1	90.3	Min. 90
Titik nyal, ^{0}C		250	300	Min. 225
Berat Jenis	1.03	1.496	1.109	Min. 1.0
Kehilangan berat, %		0.072	0.006	Max. 2.0
Pen Setelah LOH, %		33	84	Min. 55
Daktilitas setelah LOH		0.5	57	Min.50

Sumber, Aston Adhi Jaya, 2007

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tabel 2.4 Persyaratan Aspal Keras Pen 40 dan Pen 60

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan	
			Pen 40	Pen 60
1	Penetrasi, 25°C; 100 gr; 5 detik; 0.1 mm	SNI 06- 2456-1991	40-59	60-79
2	Titik Lembek, °C	SNI 06- 2434-1991	51-63	48-58
3	Titik Nyala, °C	SNI 06- 2433-1991	Min. 200	Min.200
4	Daktilitas, 25°C, cm	SNI 06- 2432-1991	Min.100	Min. 100
5	Nerat Jenis	SNI 06- 2441-1991	Min. 1,0	Min. 1,0
6	Kelarutan dalam Trichlor Ethylen, % berat	RSNI M -04-2004	Min. 99	Min. 99
7	Penutunan berat (dengan TFOT) ,% berat	SNI 06- 2440-1991	Maks. 0,8	Maks. 0,8
8	Penetrasi setelah penurunan berat , % asli	SNI 06- 2456-1991	Min. 58	Min. 54
9	Daktilitas setelah penurunan berat , % asli	SNI 06- 2432-1991	-	Min. 50
10	Uji noda aspal :	SNI 03- 6885-2002	Negatif	Negatif
	- Standar Naptha			
	- Naptha Xylene			
	- Heptane Xylene			
11	Kadar paraffin, %	SNI 03- 3639-2002	Maks. 2	Maks. 2

Sumber, Depatemen Pekerjaan Umum, 2008

2.4.2 Agregat

Agregat didefinisikan secara umum adalah formasi kulit bumi yang keras dan pejal (*solid*), yaitu suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen, (ASTM (1974).

Komponen utama dalam struktur perkerasan jalan adalah agregat, yaitu 90-95% dari berat total campuran, atau 75 % sampai 85 % dari volume campuran (The Asphalt Institute, 1983). Fungsi agregat dalam campuran selain sebagai bahan pengisi adalah memberikan konstribusi daya dukung terhahadap perkerasan jalan, oleh karena itu kualitas perkerasan jalan sangat ditentukan oleh sifat-sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lainnya.

Untuk menentukan agregat yang layak dipakai untuk perkerasan jalan, maka agregat perlu diklasifikasikan dan diidentifikasi menurut; kekuatan, kekerasan, ukuran, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kebersihan, komposisi pembentuknya, dan kelekatan terhadap aspal. Maka dari itu perlu

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui karakteristik agregat tersebut.

2.4.2.1 Agregat Kasar

a. Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No.8 (2,36 mm) dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang ditetapkan.
b. Fraksi agregat kasar harus batu pecah dan disiapkan dalam ukuran nominal. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu saringan yang lebih kecil dari saringan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.
c. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 2.5
d. Pembatasan lolos saringan No.200 < 1%, pada saringan kering karena agregat kasar yang dilekati lumpur tidak dapat dipisahkan pada waktu pengeringan sehingga tidak dapat dilekati aspal. Persyaratan teknis yang ditentukan untuk agregat kasar sebagai material campuran beraspal terlihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Ketentuan Agregat Kasar.

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks. 12 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks. 40 %
Kelekatan agregat dengan aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95 %
Angularitas		95/90(*)
Partikal Pipih dan Lonjong	RSNI T-01-2005	Maks. 10 %
Material Lolos Saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1 %

Catatan :

(*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih. **Sumber, Depatemen Pekerjaan Umum, 2008**

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

2.4.2.2 Agregat Halus

Agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi untuk menambah stabilitas dengan memperkokoh campuran secara bersinergi, saling mengunci (interlocking) dengan agregat kasar, mengurangi rongga udara, memperluas bidang permukaan, sehingga akan meningkatkan keawetan (*durable*) dari campuran perkerasan jalan. Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan tentang agregat halus adalah sebagai berikut:

a. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) sesuai SNI 03-6819-2002.
b. Fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditumpuk terpisah.
c. Pasir boleh digunakan dalam campuran beraspal. Persentase maksimum yang diizinkan untuk laston (AC) adalah 10%.
d. Pasir yang kotor dan berdebu serta partikel yang lolos ayakan no. 200 (0,075 mmlebih dari 8 % atau pasir yang mengandung nilai setar pasir (*sand equivalent*) kurang dari 50 %, tidak diperkenankan digunakan dalam campuran perkerasan jalan (Departemen Pekerjaan Umum, 2008)
e. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.
f. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.. 50 %
Material Lolos Saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 8 %
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45 %

Sumber, Depatemen Pekerjaan Umum, 2008

2.4.2.3 Filler

Filler dalam campuran berfungsi sebagai bahan pengisi ruang antara agregat kasar dan halus yang akan meningkatkan kepadatan, meningkatkan viskositas aspal dan mengurangi kepekaan tempetarur serta mengurangi rongga

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

dalam campuran. Bahan pengisi (filler) dapat berupa semen (*portland cement)*, debu batu kapur (*limestone dust*), abu terbang, abu batu, bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki, kering dan tidak menggumpal, (Dept. Pekerjaan Umum, 2008).

Penggunaan jenis filler dan proporsinya dalam campuran akan mempengaruhi kualitas perkerasan, terlalu banyak filler cendrung menghasilkan campuran mudah rusak dan getas, kebalikannya jika kandungan filter terlalu rendah akan menjadikan campuran lebih peka terhadap temperatur, dimana cuaca panas campuran akan menjadi lunak.

2. 5 Gradasi Agregat

Gradasi agregat dibedakan atas; (a) Agregat Bergradasi Menerus, sering disebut dengan agregat bergradasi baik (*well graded*) atau gradasi rapat (*dense graded*) karena campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang. Agregat dengan gradasi ini menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi (campuran tersebut relatif kaku karena *interlocking* dari butiran), berat volume besar dan skid resistance yang tinggi. (b) Agregat Bergradasi Senjang *(gap graded,* disebut juga dengan agregat bergradasi buruk (*poorly graded*), yaitu merupakan campuran agregat dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit sekali dimasukan kedalam campuran. Agregat dengan gradasi ini menghasilkan lapis perkerasan dengan sifat stabilitas campuran sedang, dan juga skid resistance yang rendah. Stabilitas tersebut diperoleh dari mortar. Gradasi agregat ini digunakan untuk campuran beraspal pada Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) atau *HotRolled Sheet* (HRS).

Gradasi agregat campuran yang digunakan dalam penelitian ini, adalah gradasi *Fuller*, rapat dan menerus, sedangkan jenis campuran yaitu lapis aus (AC-WC) yang berpedoman kepada Spesifikasi Campuran Aspal Panas, Departemen Pekerjaan Umum, 2008. Untuk jenis campuran AC-WC menggunakan metoda kurva *Fuller*, yaitu gradasi dimana kondisi campuran memiliki kepadatan maksimum dengan rongga diantara mineral agregat (VMA) yang minimum. Dalam kurva Fuller terdapat titik control gradasi dengan batas-batas titik minimum dan maksimum untuk masing-masing gradasi yang digunakan. Gradasi

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

agregat harus berada diantara titik kontrol yang disyratkan. Disamping itu juga perlu diperhatikan suatu zona larangan (*restricted zone*) yang terletak pada garis kepadatan maksimum (kurva fuller) antara ukuran menengah 2,36 mm (No. 8) atau 4,75 mm (No. 4) dan ukuran 300 mikron (No. 50). Gradasi agregat yang dipakai, diharapkan menghindari daerah larangan tersebut dan tidak berhimpit dengan kurva Fuller, sekiranya terpaksa melintasi atau memotong garis *Fuller*, hanya diizinkan satu kali.

Tujuan menghindari daerah larangan adalah :

1. Pembatasan terhadap penggunaan pasir alam yang menyebabkan kurva gradasi bongkok pada ayakan No. 30 (0.6 mm)
2. Menghindari kemungkinan gradasi yang berada pada garis kepadatan (*density*) maksimum, sehingga seringkalikali tidak mempunyai rongga yang cukup diantara mineral agregat. (VMA)

Kurva Fuller ditentukan dengan persamaan :

$$= 100 \times - ^{0.45} \quad \text{.....(2.1)}$$

dimana:

P = persen lolos saringan dengan bukaan saringan d mm

d = ukuran agregat yang diperiksa

D = ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran (mm)

Gradasi fuller memberikan batasan, ukuran fraksi agregat berdasarkan ukuran ayakan, serta menetapkan persentase lolos ayakan terhadap jenis campuran.

Gradasi agregat yang dibatasi titik control Fuller dan daerah larangan untuk campuran AC-WC dapat dilihat dalam Tabel 2.7.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tabel 2.7 Titik Kontrol Kurva Fuller dan Daerah Larangan Campuran AC-WC

Ukuran Ayakan		%Berat yang Lolos	
		Laston (AC)	
ASTM	(mm)	WC	Fuller
1.5"	37,5		
1"	25		
3/4"	19	100	100
1/2"	12,5	90 – 100	82,8
3/8"	9,5	Max. 90	73,2
No. 8”	2,36	28 – 58	39,1
No. 16”	1,18	-	28,6
No. 30”	0,600	-	21,1
No. 200”	0,075	4 – 10	8,3
DAERAH LARANGAN			
No. 4	4,75	-	53,6
No. 8	2,36	39,1	39,1
No. 16	1,18	25,6 – 31,6	28,6
No. 30	0,600	19,1 – 23,1	21,1
No. 50	0,300	15,5	15,5

Sumber, Depatemen Pekerjaan Umum, 2008

2.6 Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak

Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2008 menjelaskan, perencanaan campuran beraspal panas, selain menggunakan Metode Marshall Konvensional, juga menggunakan metode Kepadatan Mutlak (*Refusal Density*) sesuai standar RSNI (Bina Marga 1999), sebagai suatu pendekatan terhadap kondisi lapangan akan adanya pemadatan lanjutan oleh beban lalu lintas selama umur rencana. Kepadatan mutlak ini dimaksudkan sebagai kepadatan tertinggi (maksimum) yang dapat dicapai, sehingga campuran tersebut tidak dapat menjadi lebih padat lagi.

Marshall konvensional menetapkan pemadatan benda uji 2x75 tumbukan untuk kondisi lalu lintas berat, dengan batas rongga campuran antara 3.5 - 5.5%. Hasil pengujian pengendalian mutu menunjukan bahwa kesesuaian parameter

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

kontrol dilapangan seringkali tidak terpenuhi untuk mencapai persyaratan dalam spesifikasi, sehingga kinerja perkerasan jalan tidak tercapai.

Pusat Penelitian Pengembangan Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum menunjukan adanya kaitan yang erat antara deformasi plastis dengan tingginya kadar aspal dan penurunan rongga dalam campuran (VIM) selama masa pelayanan jalan. Penurunan VIM ini bermula dari rendahnya rongga campuran rencana. Rongga dalam campuran setelah dilalui lalu lintas dalam beberapa tahun mencapai kurang dari 1%, sehingga terjadi perubahan bentuk plastis (deformasi permanen), (Binamarga Departemen PU, 1999).

Untuk mengatasi masalah tersebut dibuat pengujian tambahan yaitu pemadatan ultimate pada benda uji dengan kadar aspal yang didapat dari nilai VIM 6% pada kurva hubungan VIM dengan kadar aspal Marshall konvensional, sampai mencapai kepadatan mutlak (*Refusal Density*). Pemadatan dilakukan dengan menggunakan alat pemadat getar listrik, apabila tidak ada dapat dilakukan dengan pemadatan Marshall konvensional dengan jumlah tumbukan 2x400. Nilai rongga dalam agregat (VMA) dan nilai rongga maksimum terisi aspal (VFB) akan dikontrol oleh VIM *refusal* setelah pengujian *Percentage Refusal Density* (PRD). Perencanaan batas maksimum VIM dan nilai minimum VFB sangat penting untuk mendapatkan keseimbangan antara VMA, VFB, VIM, dan kadar aspal.

Selain adanya prosedur pengujian tambahan berupa pemadatan ultimit, spesifiksi baru ini melakukan beberapa perubahan dibanding dengan spesifikasi sebelumnya, yaitu :

a. Dihilangkannya pembatasan kadar aspal total dalam campuran.
b. Ditambahkan batas minimum rongga dalam agregat (VMA) yang relative tinggi.
c. Disyaratkan volume rongga terisi aspal (VFB)
d. Adanya pengaturan gradasi yang lebih ketat, terutama untuk campuran laston yang tidak memberikan gradasi berbentuk amplop, tetapi menggunakan kurva *Fuller* yang dibatasi dengan daerah larangan (*Restricted Zone*) dan titik kontrol gradasi. Daerah larangan adalah dimana gradasi yang digunakan tidak boleh memotong daerah larangan

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

ini. Sedangkan titik control adalah titik yang membatasi gradasi diatas dan dibawah kurva Fuller, tetapi bukan dalam bentuk amplop.

Persyaratan minimum rongga terisi aspal, merupakan upaya untuk memperoleh campuran lebih lentur dan awet, sehingga mempunyai ketahanan terhadap retak. Dengan terpenuhinya persyaratan rongga udara dalam campuran dan juga rongga terisi aspal diharapkan campuran lebih tahan terhadap deformasi sekaligus lebih awet, kedap air, dan lebih tahan terhadap retak lelah.

2.7 Modulus Kekakuan Campuran Beraspal

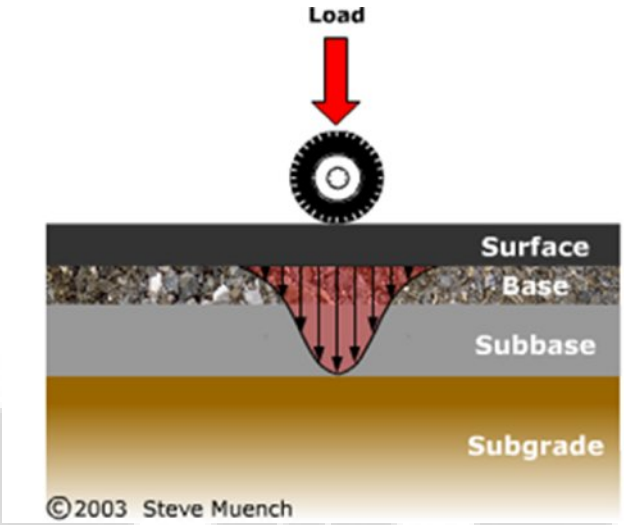
Modulus Resilient menurut (*Huang 1993*) adalah modulus elastis untuk digunakan dalam teori elastisitas. Hal ini juga diketahui bahwa bahan-bahan perkerasan kebanyakan tidak elastis, namun pengalaman beberapa deformasi permanen dijumpai setelah terjadinya pembebanan. Jika beban berulang yang diberikan lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan material dalam periode waktu yang lama, deformasi yang terjadi akibat beban benar-benar kembali atau pulih secara proporsional, maka dalam hal ini dianggap campuran mempunyai sifat elastis.

Modulus elastis berdasarkan beban berulang, *strain* mampu pulih disebut *Modulus Resilient* (MR) didefinisikan sebagai $Mr = \sigma d / \varepsilon r$ ……..2.2

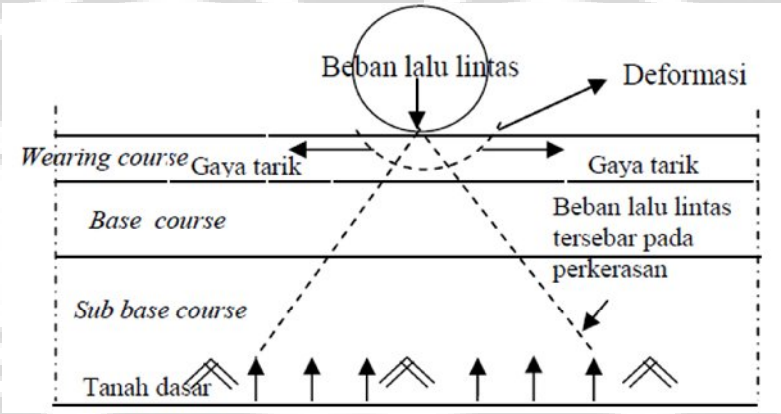
dimana σd tegangan deviator, dan εr adalah regangan mampu pulih.

Pembebanan berulang beroperasi secara vertical atau tegak lurus diameter benda uji, seperti ilustrasi Gambar 2.4 alibat beban roda kendaraan, dan pembebanan tersebut menghasilkan tegangan tekan arah vertical, serta sejalan dengan tegangan tarik (gaya tarik) arah horizontal benda uji seperti ilustrasi Gambar 2.5.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 2.4 Ilustrasi Beban Vertikal Tegak Lurus Diameter Roda



Gambar 2.5 Ilustrasi Reaksi Perlawanan Terhadap Beban Lalu lintas.

2.8 Deformasi Permanen

Deformasi permanen merupakan peristiwa penurunan lapis struktur perkerasan secara permanen, karena deformasi yang terjadi pada permukaan perkerasan tidak kembali lagi keposisi semula setelah terjadi pembebanan. Karakteristik deformasi permanen pada umumnya terjadi dalam bentuk *rutting* pada jalur roda kendaraan.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Terbentuknya *rutting* disebabkan oleh banyaknya lintasan secara berulang serta berat beban yang melewati perkerasan jalan, sehingga memberikan dampak kerusakan pada lapis atas dan lapis bawah perkerasan, (Asphalt Institute, 1996)

Deformasi permanen dapat terjadi akibat :

1. Pemadatan lapisan tanah dasar (*subgrade*), pondasi bawah (*subbase course)* dan *base course* yang kurang baik.
2. Jenis material dan komposisi serta dimensi perkerasan yang tidak sesuai rencana, dan setiap lapisan perkerasan tidak sanggup memberikan reaksi perlawanan terhadap beban lalul lintas, seperti Gambar 2.5
3. Pemadatan lapisan beraspal yang kurang baik selama pelaksanaan.
4. Keausan permukaan akibat gesekan dari roda kendaraan.
5. Deformasi plastis, yaitu depresi pada bidang pembebanan dengan tonjolan pada kedua sisi alur tersebut yang disebabkan sifat viskoelastis campuran.

Untuk mensimulasikan terjadinya deformasi permanen campuran perkerasan pada kondisi sebenarnya dapat dilakukan penyelidikan laboratorium dengan menggunakan alat *Wheel Tracking Machine (WTM).*

2.9 Pengujian Campuran Beraspal

2.9.1 Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall* adalah pengujian terhadap benda uji untuk menentukan nilai kadar aspal optimum dan karakteristik campuran dengan cara mengetahui nilai Stabilitas, Kelelehan dan *Marshall Quotient*. Konsep pengujian Marshall ini dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal bersama dengan The Mississippi Stat Highway Department. Kemudian penelitian ini dilanjutkan oleh The U.S Army Corps of Engineers, dengan lebih ekstensif dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian Marshall dan akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran. Pengujian Marshall di Indonesia distandardisasikan di dalam SNI 03-2489-1991

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Angka-angka stabilitas benda uji didapat dari pembacaan dial alat tekan Marshall. Angka stabilitas ini masih dikoreksi lagi dengan kalibrasi alat dan ketebalan benda uji.

Flow dari pengujian *Marshall* merupakan besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga sampel sampai batas runtuh atau stabilitas maksimum yang dinyatakam dalam satuan mm atau 0,01".

Marshall Quotient (MQ) memprediksi sifat fleksibelitas bahan, yang mana MQ merupakan hasil bagi nilai stabilitas dengan kelelehan. Campuran dengan MQ yang rendah akan menjadikan campuran lebih rentan terhadap depformasi permanen dan bila campuran memiliki MQ tinggi akan menjadikan campuran lebih kaku dan mudah retak. (Bambang Sugeng, 2002). *Marshall Quotient* merupakan indikator dari kelenturan yang potensial terhadap keretakan.

Dimana :

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

S = Stabilitas (kg)

F = Nilai flow (mm)

2.9.2 Pengujian Indek Kekuatan Marshall Sisa (IKS)

Pengujian Perendaman Marshall dilakukan untuk memeriksa kerentanan campuran terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air. Sejumlah benda uji Marshall disiapkan pada Kadar Aspal Optimum, setengah dari jumlah yang disiapkan dilakukan uji Marshall standar dan dicari nilai rata-rata stabilitasnya, sisa benda uji direndam selama 24 jam pada suhu 60^0C dan dicari nilai rata-rata stabilitasnya. Perbandingan antara stabilitas benda uji Marshall standar dengan stabilitas benda uji *Marshall Immersion* (setelah perendaman 24 jam) dinyatakan dalam persen, yang disebut Indeks Kekuatan Marshall Sisa (*Marshall Index of Retained Strength*).

Sesuai dengan SNI-1737-1989-F, Indeks Kekuatan Marshall Sisa (IKS) sebesar 75% merupakan nilai minimum yang disyaratkan, (Harry Fitriadi, 2006). Pada nilai tersebut campuran aspal dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh air.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

2.9.3 Pengujian Marshall Modifikasi

Selain uji Marshal standar dan Indek Kekuatan Marshall Sisa, dalam penelitian ini dilakukan pengujian Marshall modifikasi. Pembuatan benda uji tetap seperti benda uji Marshal standar dengan kadar aspal optimum. Peralatan mengunakan alat uji Marshall, namun bedanya benda uji diletakan dengan rangka pembebanan dalam sebuah wadah berisi air.

Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa variasi berat beban terhadap benda uji dalam kondisi terendam selama beberapa periode yang ditentukan. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai stabilitas dan nilai kelelehan akibat pengaruh pembebanan secara berulang dalam kondidi terendam dalam air.

2.9.4 Pengujian Modulus Resilien dengan Beban Berulang

Pengujian dengan pembebanan berulang dikenal dengan pengujian *The Universal Matherial Testing Aparatus for Asphal* (UMATTA 1992). Dalam pengujian ini sesuai dengan ASTM D41-87 (1987), dimana suatu gaya pembebanan diameteral berbentuk pulsa pada sebuah benda uji dan menghasilkan total regangan mampuh-pulih secara diameteral dan selanjutnya diukur sepanjang sumbu tegak lurus gaya yang diberikan.

Regangan disumbu yang sama dengan gaya beban tidak diukur, dengan demikian rasio poison harus dicantumkan secara terpisah untuk menggantikan nilai *default* sistem UMATA sebesar 0.40

Gelombang gaya pembebanan dalam peralatan UMATA berbentuk segi tiga dan tidak dapat diubah. Urutan pengujian terdiri dari penerapan sejumlah pulsa-pulsa pengkondisian yang terseleksi, dan kemudian diikuti oleh 5 pulsa pembebanan, dimana data yang diminta diperoleh. Pulsa-pulsa pengkondisian untuk memastikan bahwa pelat pembebanan telah terletak dengan baik diatas benda uji dan hasil yang akan diperoleh seterusnya akan konsisten, hasil berikutnya dihitung dari data yang diperoleh pada setiap lima pulsa pembebanan :

1. Modulus kekakuan benda uiji (Resilient Modulus)
2. Waktu naiknya pulsa gaya (Rise Time Peak)
3. Waktu turunnya pulsa gaya (Time of Loading)

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

4. Tegangan tarik (tesile Stress)
5. Beban puncak Peak Forse)
6. Total regangan mampu pulih (Total Recoverable Strain)

Dengan menggunakan data dari lima pulsa pembebanan, modulus rata-rata dan deviasi standar serta koefisien variasi dapat dihitung. Pengujian dapat dilakukan pada temperatur benda uji konstan, yaitu temperatur permukaan dan inti benda uji yang diukur dengan *termocouple* yang disisipkan kedalam sebuah benda uji tiruan yang terletak dekat benda uji yang sesungguhnya yang akan diuji. Benda uji dilakukan pada kadar aspal optimum (KAO) yang didapat dari hasil analisa Marshall dan dibuat sampel (briket) yang sama seperti untuk pengujian Marshall.

Rumus yang dipakai dalam pehitungan adalah:

$$E = F (R + 0.2) / (L * H) \quad \text{..... 2.3}$$

$$\square r = H / D \quad \text{..... 2.4}$$

dimana :

E = *Total resilient modulus of elasticity* (MPa)

L = Tiggi beda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)

F = Gaya maksimum yang bekerja (beban berulang, N)

R = Resilien Poisson's ratio yang diasumsikan

H = Total deformasi horizontal yang mampu pulih

$\square r$ = Total regangan yang mampu pulih

2.9.5 Pengujian Wheel Tracking

Pengujian Wheel Tracking merupakan simulasi dari pembebanan roda kendaraan pada lapisan perkerasan beraspal, dimana beban roda bergerak maju mundur melintas diatas benda uji yang dibuat berupa lapisan perkerasan beraspal. Ketahanan suatu campuran perkerasan beraspal terhadap Deformasi Permanen berupa alur (*rutting,* Gambar 2.6), dapat dievaluasi setelah dilalui sejumlah lintasan atau laju deformasi *(rate of deformation*) dalam mm/menit (Shell 2003).

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Disamping itu juga dapat diukur nilai stabilitas dinamis (*dynamic stability*) yaitu jumlah lintasan yang diperlukan untuk membentuk alur sedalam 1 mm.

Benda uji berbentuk persegi dengan ukuan 30 x 30 x 5 cm dan dipadatkan hinggal mencapai kepadatan yang diperoleh dari analisa Marshall pada kadar aspal optimum dengan toleransi ± 2 %. Pemadatan benda uji dilakukan dengan alat pemadat yang sesuai standar. Pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan kontak roda pada permukaan benda uji seberat 4.4 kg/cm^2 yang setara dengan beban standar sumbu tunggal roda ganda 8,16 ton. Setiap benda uji dilewati 1.260 siklus roda dalam 1 jam pada kecepatan 21 siklus (42 lintasan) per menit

Gambar 2.6 Alur (Rutting) pada Permukaan Jalan

Pengujian dilaboratorium dilakukan sesuai dengan temperatur rencana. Hasil pengujian Wheel Tracking digambarkan dengan hubungan antara nilai deformasi dan waktu seperti diperlihatkan pada gambar 2.7. Kurva deformasi berbentuk lengkung dan berubah lurus, diperoleh dengan menarik garis singgung pada titik perubahan sampai memtong sumbu nilai deformasi. Titik perpotongan tersebut disebut deformasi permanen awal (d0). Stabilitas Dinamis (DS) dan laju deformasi (RD), dihitung secara otomatis oleh mesin uji dengan menggunakan persamaan (Irsan, M) sebagai berikut :

$$DS = 21 \text{ x} 2 \text{ x } \frac{(t2 - t1)}{(d2 - d1)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2.5$$

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

$$RD = \frac{(t2 - t1)}{(d2 - d1)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2.6$$

Dimana :

DS = Stabilitas Dinamis (lintasan/mm)

RD = Laju Deformasi (mm/menit)

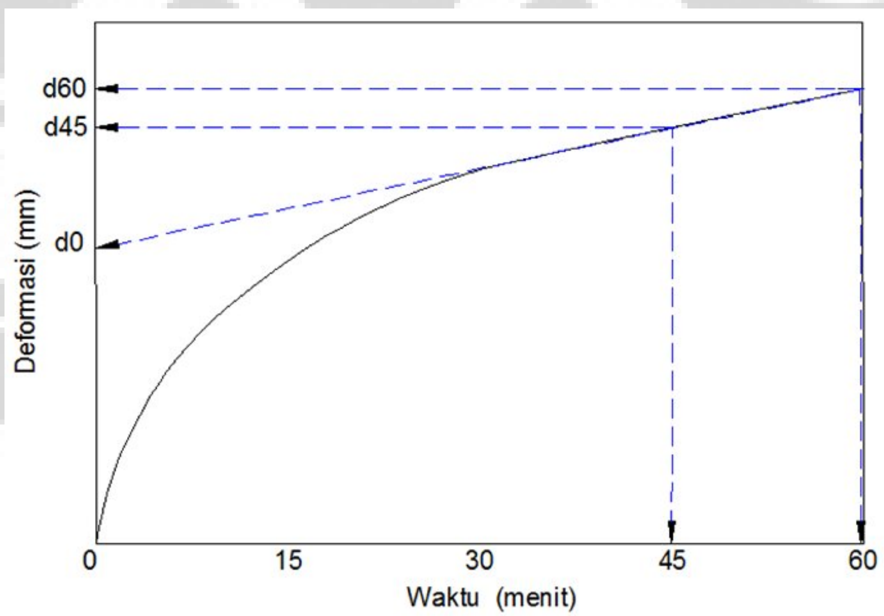
d1 = Deformasi pada saat pengujian berjalan 45 menit (mm)

d2 = Deformasi pada saat pengujian berjalan 60 menit (mm)

t1 = 45 menit

t1 = 60 menit

Deformasi permanen atau rutting pada struktur perkerasan beraspal terjadi karena adanya akumulasi regangan permanen pada seluruh lapisan struktur perkerasan (Brown dan Brunton, 1984). Ilustrasi proses terjadinya deformasi permanen seperti ditampilkan pada gambar 2.7



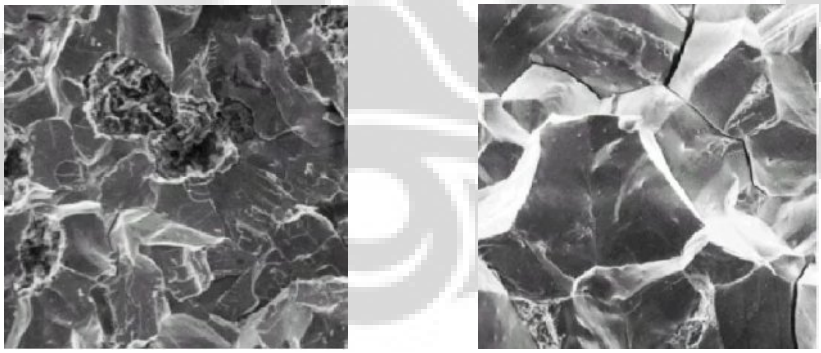
Gambar 2.7 Hubungan Waktu dan Deformasi
Sumber : Puslitbang Jalan, 2006

2.9.6 Pengujian Perubahan Struktur Campuran Laston (AC-WC)

Mikroskop pemindai elektron (*Scanning Electron Microscope-SEM*) adalah suatu alat yang akan digunakan untuk menganalisa secara rinci perubahan Struktur Molekuler Material

Pada 1942 tiga orang ilmuwan Amerika yaitu Dr. Vladimir Kosma Zworykin, Dr. James Hillier, dan Dr. Snijder, membangun sebuah mikroskop elektron metode pemindaian (SEM) dengan resolusi hingga 50 nm atau magnifikasi 8.000 kali. Sebagai perbandingan SEM modern sekarang ini mempunyai resolusi hingga 1 nm atau pembesaran 400.000 kali. Mikroskop elektron cara ini memfokuskan sinar elektron (electron beam) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek material.

Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT(cathode ray tube). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi. Berikut ini beberapa gambar SEM

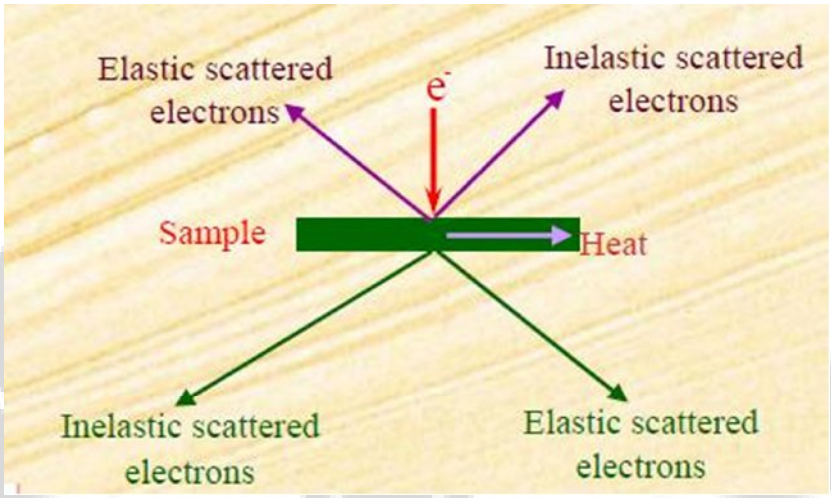


Gambar 2.8 Contoh "Dimple" yang bulat merupakan lubang-lubang micro yang merupakan awal perpatahan ductile yang bertambah sedikit demi sedikit.

Sumber: MMS 8110803 –Karakterisasi Material + LAB Microstructure Analysis, Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

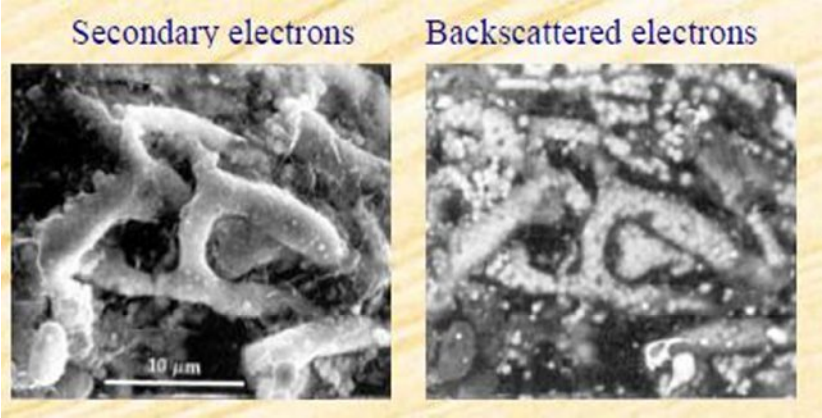
Disamping itu dengan menggunakan elektron, juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Skema Pantulan alat SEM

Perbedaan gambar dari sinyal elektron sekunder dengan *backscattered* adalah sebagai berikut: elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah. Sedangkan *backscattered* elektron memberikan perbedaan berat molekul dari atom-atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah daripada atom dengan berat molekul rendah. Contoh perbandingan gambar dari kedua sinyal ini disajikan pada gambar dibawah ini.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 2.10 Perbedaan gambar dari sinyal elektron sekunder dengan *backscattered*

Perameter pengamatan secara visualisai dalam penelitian ini, melakukan pengkajian tentang :

- Karakteristik ikatan dalam campuran
- Mengetahui karakteristik sebaran butir
- Mengukur porositas (rongga dalam campuran)

Adapun metoda yang dilakukan penditeksian kajian yang dilakukan adalah pengukuran secara manual / visualilisasi secara *planimetri* dan atau menggunakan plastik transparansi melimeter diletakan diatas foto, lalu diukur besaran parameter yang diteliti, (Udin, 2011)

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Metode penelitian merupakan cara untuk mendapatkan data guna mencapai tujuan dari penelitian. Pada bab ini dijelaskan metode atau proses penelitian, instrumen penelitian, pengumpulan data, dan metode analisa data.

Prosedur penelitian yang dilakukan adalah Campuran Aspal Panas yang mengacu kepada spesifikasi Departemen Pekerjaan Umun tahun 2007, dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dilengkapi dengan standar lainnya seperti *American of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan *Britis Standard* (BS). Penelitian ini dititik beratkan kepada pengujian karakteristik campuran Aspal Beton Lapis Aus (Laston AC-WC). Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70 dan campuran aspal penetrasi 60/70 dimodifikasi dengan Bitumen Natural Aspalt (BNA).

Indonesia termasuk iklim tropis yang cukup panas. Maka sebagai pertimbangan dengan menggunakan aspal penetrasi rendah (BNA) justru akan lebih baik untuk mengantisipasi suhu panas, sebaliknya jika banyak musim hujan jalan akan digenangi air dan filler yang terkandung dalam BNA akan mengurangi porositas dalam campuran dan menghambat infiltrasi air kedalam campuran.

3.2. Rencana Penelitian

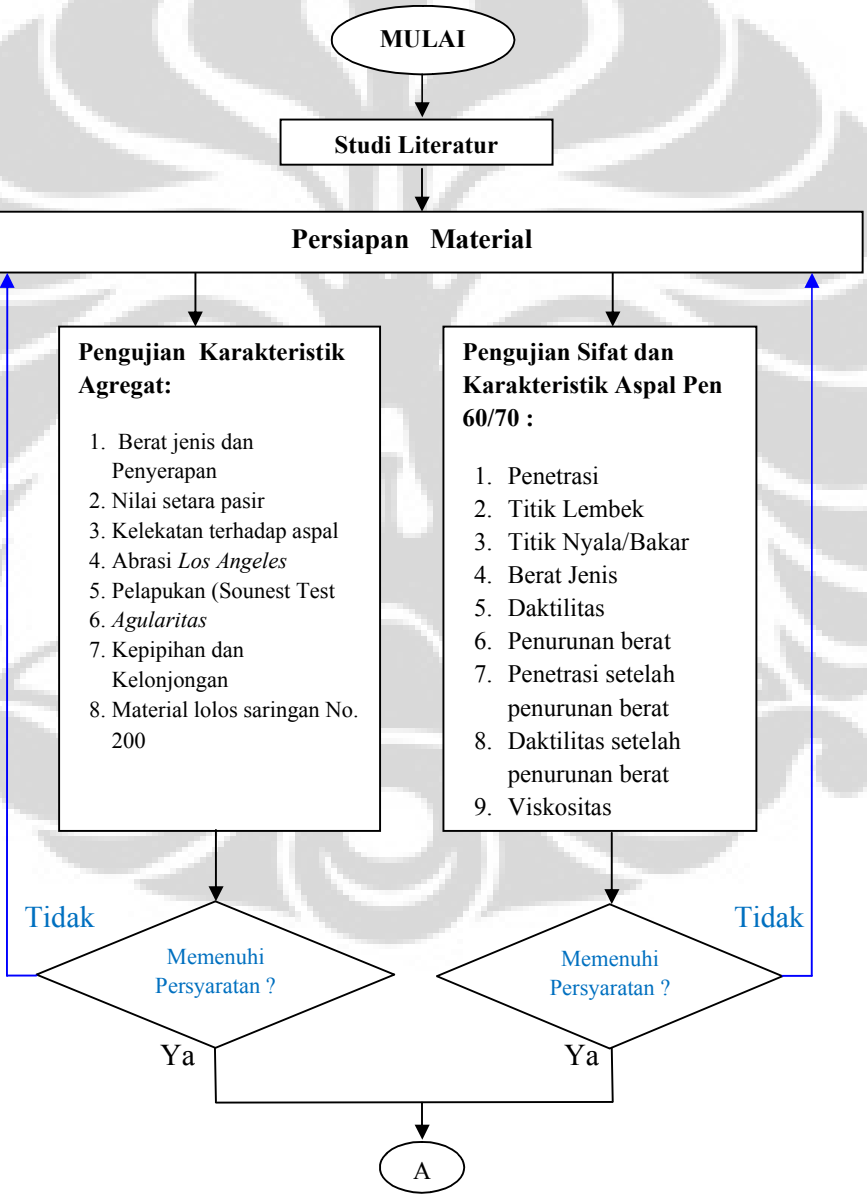
Penelitian meliputi pengujian; (1) karakteristik dan sifat-sifat material agregat kasar dan halus serta aspal, (2) pengujian Marshall (3) pengujian Pembebanan Berulang Terendam dalam Air dengan alat Marshall Modifikasi (4) pengujian Modulus Resilient dengan alat UMATTA (5) pengujian Deformasi Permanen dengan alat Wheel Tracking dan (6) pengujian karakteristik secara visual campuran AC-WC dari gambar yang diproses dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian bahan sifat-sifat dan karakteristik aspal, agregat, dan uji Kepadatan Mutlak dilakukan di laboratorium uji bahan Politeknik Negeri Bandung.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

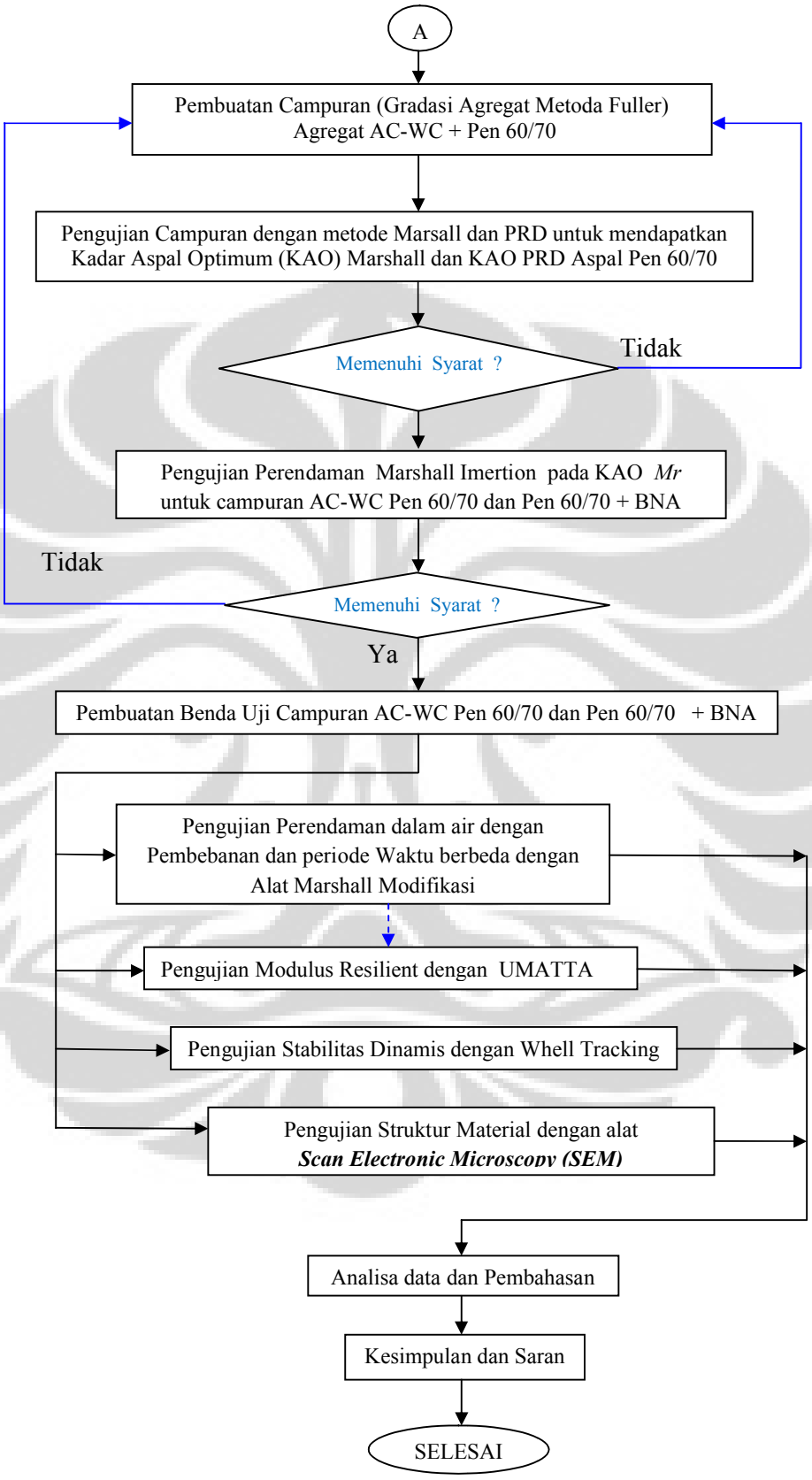
Pengujian point (2) dan (3) diatas dilakukan di Laboratorium Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pengujian struktur material dengan alat SEM dilakukan di laboratorium Departemen Metalurgi Fakultas teknik Universitas Indonesia. Sedangkan pengujian dengan alat UMATA, dan Wheel Tracking dilakukan di UPT. PPP. Departemen Pekerjaan Umum Daerah Khusus Ibukota Jakarta.

Garis besar program kerja penelitian terlihat pada Diagram Alir gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

3.3 Pengujian Material

Komponen utama material campuran Laston AC-WC yang diuji dalam penelitian ini adalah :

3.3.1 Pengujian Aspal

Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70 produksi Cevron dan aspal penetrasi 60/70 dimodifikasi dengan bitumen natural aspal dengan komposisi (75% Pen 60/70 dan 25% BNA). Pemeriksaan karakteristik dan sifat-sifat aspal apakah memenuhi persyaratan standar yang telah ditetapkan, maka dilakukan berbagai jenis pengujian serta metoda seperti dalam tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.1 Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian
1	Penetrasi, 25 C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek, C	SNI 06-2434-1991
3	Titik Nyala, C	SNI 06-2433-1991
4	Berat Jenis	SNI 06-2411-1991
5	Daktilitas; 25 C; cm	SNI 06-2432-1991
6	Kelaryutan dalam trichlor Ethylen; % berat	SNI 06-2438-1991
7	Penurunan berat dengan TFOT; % berat	SNI 06-2440-1991
8	Penetrasi setelah penurunan berat; 0,1 mm; % asli	SNI 06-2456-1991
9	Daktilitas setelah penurunan berat; % asli	SNI 06-2432-1991
10	Uji Noda Aspal: - Standar Naptha - Standar Xylene - Hephtane Xylane	SNI 03-6885-2002
11	Kadar Parafin %	SNI 03-3639-2002

Sumber, Depatemen Pekerjaan Umum, 2008

Setelah pengujian dan pemeriksaan material dilakukan, jika hasil yang diperoleh ternyata tidak masuk kedalam batas acuan spesifikasi dan standar yang berlaku, maka akan dilakukan pemeriksaan ulang sampai diperoleh material yang memenuhi standar.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

3.3.2. Pengujian Material Agregat

Bahan baku agregat dalam penelitian ini berasal Rumpin Bogor Jawa Barat. Agregat kasar, halus dan filler diperoleh dari AMP PT. Hutama Prima, Bogor, yaitu hasil mesin pemecah batu (*Stone Cruser*) untuk mendapatkan ukuran agregat sesuai permintaan dan sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

Pengujian laboratorium dilakukan terhadap agregat kasar, halus dan filler adalah untuk mengevaluasi kesesuaian dengan persyaratan maupun standar metoda pengujian seperti dalam Tabel 3.2 dan Tabel 3.3

Tabel 3.2 Pengujian dan Standar Agregat Kasar.

Jenis Pengujian	Metoda/Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks. 12 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks. 40 %
Kelekatan agregat dengan aspal	SNI 03-2439-1991	Min.. 95 %
Angularitas		95/90(*)
Partikal Pipih dan Lonjong	RSNI T-01-2005	Maks. 10 %
Material Lolos Saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1 %

Sumber, Depatemen Pekerjaan Umum, 2008

Tabel 3.3 Pengujian dan Standar Agregat Halus

Jenis Pengujian	Metoda / Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.. 50 %
Material Lolos Saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 8 %
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45 %

Sumber, Depatemen Pekerjaan Umum, 2008

3.4. Gradasi Agregat

Gradasi Agregat campuran mengacu kepada spesifikasi Campuran Aspal Panas Departemen Pekerjaan Umum tahun 2008. Gradasi agregar untuk perencanaan campuran yang diteliti adalah gradasi campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) yang berada diatas kurva Fuller, dengan tujuan untuk mendapatkan susunan butir lebih halus dan mudah dalam proses pengerjaan dan pemadatan. Namun ketahanan terhadap deformasi relatif rendah. Antisipasi terhadap

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

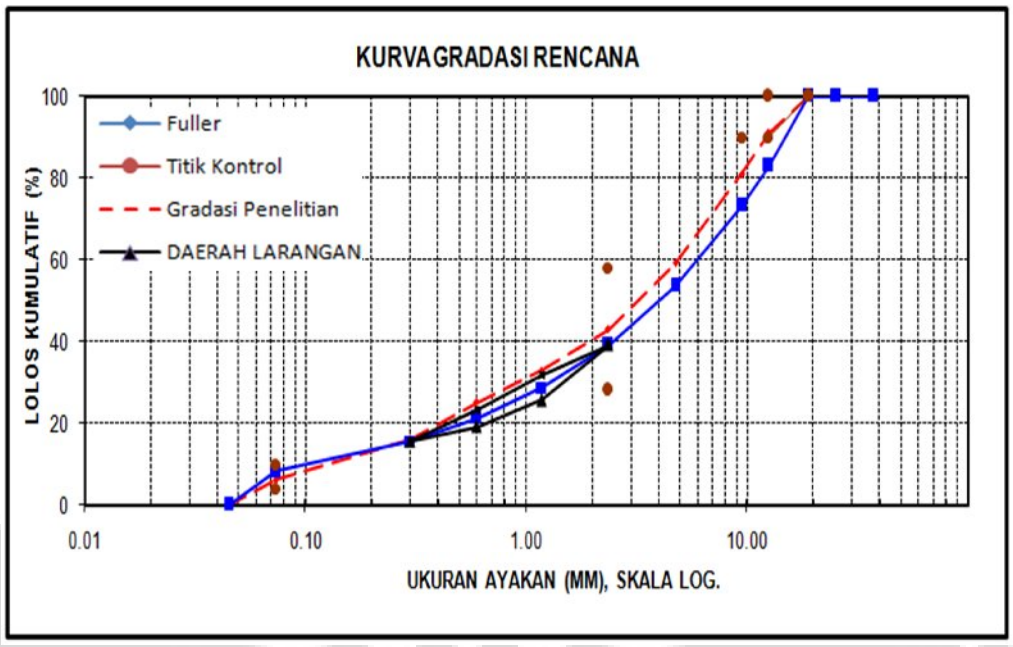
deformasi permanen diharapkan akan berkurang dengan penambahan BNA kedalam aspal Pen 60/70, yang mempunyai karakterisik penetrasi dan daktilitas lebih rendah.

Gradasi agregat dirancang berdasarkan spesifikasi Fuller yang mengacu kepada spesifikasi Bina Marga No. 023/T/BM/1999, sebagaimana yang diperlihatkan dalam tabel no. 3.4 serta kurva gradasi pada gambar 3.2.

Tabel 3.4. Rancangan Gradasi Laston AC-WC

No.	Ukuran Ayakan		% Berat yang Tertahan		% Berat Lolos Gradasi Rancangan Campuran	LOLOS KUM. (%), GAB. AGG. LASTON AC-WC BERDASARKAN SPEK. NO. 023/T/BM/1999				
	ASTM	(mm)	Tertahan	Kumulatif		Spek. Gradasi Fuller	Daerah Dihindari		Titik Kontrol	
							Bawah	Atas	Min.	Maks.
1	3/4"	19	0	0	100	100.0			100	100
2	1/2"	12.5	9	9	91	82.8			90	100
3	3/8"	9.5	10	19	81	73.2				90
4	No. 4	4.75	22	41	59	53.6				
5	No.8	2.36	16	57	43	39.1	39.1	39.1	28	58
6	No.16	1.18	10	67	33	28.6	25.6	31.6		
7	No.30	0.6	8	75	25	21.1	19.1	23.1		
8	No.50	0.3	9	84	16	15.5	15.5	15.5		
9	No.200	0.075	10	94	6	8.3			4	10
10	Pan	0	6	100	0	0.0				

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 3.2 Kurva Gradasi Laston AC-WC

3.5 Perencanaan Campuran Metoda Marshall dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak.

Dalam menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) digunakan perencanaan metoda Marshall dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak (*Refusal Density*). Metoda ini mengikuti spesifikasi Pedoman Teknis Perencanaan Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak dari Pekerjaan Umum tahun 1999. Sebagai acuan normativ dalam pengujian ini adalah :

- SNI 06 – 2484–1991 : Metode Pengujian Campuran aspal dengan alat Marshall
- AASHTO. T 245–97 : *Standard Method of test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshalll Apparatus*.
- AASHTO. T 209–90 : *Standard Method of test for Maximum Specific Gravity of Bituminous Paving Mixtures*
- BS 598 : Part.104-1989 : *Methods of Test for the Determination of Density and Compaction*
- Asphalt Institute MS-2 - 1993 : *Mix Design Methods*

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tahap awal yang dilakukan dalam perencanaan campuran adalah menghitung perkiraan kadar aspal optimum (Pb. KAO) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Pb = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + K \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.1)$$

dimana : Pb = Perkiraan bitumen

CA = *Course Agregate* (Agregat Kasar)

FA = *Fine Agregate* (Agregat Halus)

FF = *Fine Filler* (Bahan Pengisi)

K = Konstanta (0.5 sampai dengan 1) untuk Laston

Nilai Pb (Perkiraan bitumen) dari hasil perhitungan dibulatkan sampai 0.5% terhadap nilai perkiraan kadar aspal optimum dari perhitungan yang didapat dari persamaan (3.1) diatas. Selanjutnya dibuat benda uji Marshall dengan 6 variasi kadar aspal, yaitu min 2 dan plus 3 dari Pb atau (-1%, -0.5%, Pb, +0.5%, +1%, + 1.5 % + 2 %), masing-masing variasi dibuat 3 (tiga) benda uji, total benda uji 18 buah. Variasi kadar aspal campuran tersebut dibuat dengan mengunakan aspal Pen 60/70. Benda uji yang dibuat adalah benda uji Marshall standar berbentuk selinder dengan tabung cetakan berukuran 4" (102 mm) dan tinggi benda uji setelah dicetak 2.5 inch (63.5 mm).

Penerapan temperatur untuk pencampuran dan pemadatan benda uji didapatkan dari nilai viscositas Saybolt Furol. Kurva hasil pengujian Viscositas aspal dengan menggunakan alat Saybolt Furol Viscosimeter, selanjutnya dihubungkan dengan temperatur pencampuran dan pemadatan.

Pemadatan benda uji dilakukan dengan penumbukan 2 x 75 tumbukan (75 tumbukan pada bidang atas, lulu cetakan berisi benda uji dibalikan dan ditumbuk lagi sebanyak 75 tumbukan) dengan menggunakan mesin pemadat elektrik. Setelah benda uji dipadatkan, selanjutnya disimpan sesuai suhu ruang dengan posisi cetakan yang direbahkan selama 24 jam, barulah benda uji dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan alat extruder. Benda uji diukur tingginya pada pada 4 posisi dan diambil nilai rata-rata, lalu ditimbang berat keringnya. Selanjutnya benda uji direndam selama 24 jam, ditimbang berat dalam air, berat jenuh kering permukaan (*saturated survace dray*) untuk mendapatkan; berat

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

jenis (*bulk specific gravity*), rongga diantara mineral agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga terisi aspal VFB).

Tahapan berikutnya benda uji direndam satu per-satu dalam *waterbath* dengan suhu 60 ^{0}C selama 30 menit dengan periode waktu yang disesuaikan dengan lamanya waktu pengujian Mashall. Setelah benda uji yang pertama direndam telah mencapai waktu 30 menit, dikeluarkan dari *waterbath* dan langsung dilakukan pengujian Marshall dengan alat Marshall (Gambar 3.3) untuk mendapatkan nilai Stabilitas, Flow dan *Marshall Quotient*. Semua data ditabelkan dan diolah dengan menggunakan persamaan sesuai standart yang telah ditentukan, lalu digambarkan grafik hubungan setiap persentase kadar aspal dengan setiap parameter Marshall yang telah dihitung sebelumnya. Selanjutnya menetukan Kadar Aspal Optimum Marshall (KAO*Mr*) yaitu nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter yang disyaratkan. Jumlah benda uji untuk mendapatkan KAO*Mr* sebanyak 18 sampel seperti terlihat dalam Tabel 3.5

Tabel 3.5 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO Marhall

Kadar Aspal	**Jumlah Benda Uji**
Pb -1.0 %	3
Pb -0.5 %	3
Pb	3
Pb + 0.5 %	3
Pb + 1.0 %	3
Pb + 1.5 %	3
Total	**18**

Untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum Kepadatan Mutlak (KAO*Ref*), dibuat tiga benda uji (Tabel 3.6), satu benda uji dengan kadar pada nilai rongga dalam campuran (VIM) 6% atau terdekat yang dibulatkan (X), dan dua lagi plus dan minus 0.5 % dari nilai X. Benda uji dipadatkan dalam cetakan *(Mold)* yang berukuran 6 inch dengan menggunakan pemadat getar sesuai standar (BS 598 Part 104, 1989, atau dengan pemadat Marsall sebanyak 400 tumbukan masing-masing bidang.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Setelah 24 jam benda uji dikeluarkan dari *mold* , dilakukan pengukuran, dan penimbangan berat berat kering. Selanjutnya rendam 24 jam, timbang berat dalam air, dan berat jenuh kering permukaan (*SSD*), olah data untuk mendapatkan rongga dalam campuran kepadatan mutlak (VIM*Ref*). Terakhir kurvanya digabung dengan semua perameter kurva uji Marshal untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum *Refusal Density* (KAO*Ref*). Dalam Penelitian ini menggunakan pemadat getar seperti terlihat pada Gambar 3.4

Gambar 3.3 Alat Uji Mrshall

Gambar 3.4 Alat Pemadat Getar Benda Uji PRD.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tabel 3.6 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan VIM*Ref*

Variasi	Jumlah Benda Uji
Pb - 0.5 %	1
X	1
Pb + 0.5 %	1
Total	**3**

3.6 Pengujian *Marshall Immersion*

Jenis campuran dalam pengujian Marshall Immersion yang digunakan adalah campuran PEN 60/70 dan Modifikasi BNA pada Kadar Aspal Optimum Marshall. Pengujian ini diharapkan dapat memberikan indikasi akan kerentanan (*susceptibility*) atau durabilitas campuran terhadap pengaruh air dan perubahan temperatur.

Pada pengujian ini dibuat 6 benda uji masing-masing jenis campuran (Tabel 3.7). Tiga benda uji setiap jenis campuran dilakukan pengujian Marshall sesuai SNI 06-2489-1991. Dan tiga lagi untuk pengujian Marshall setelah benda uji direndam selama 24 jam dalam air pada temperatur 60 ^{o}C (*immersed condition*). Kedua jenis kondisi sampel pada pengujian Marshall didapat nilai stabilitasnya. Perbandingan nilai stabilitas rendaman 24 jam dan stabilitas Marshall standar yang dinyatakan dalam persen, disebut nilai Indek Kekuatan Sisa (IKS) Marshall.

Tabel 3.7 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan IKS.

No	Jenis Pengujian	Jumlah Benda uji	
		Campuran AC-WC Pen 60/70	Campuran AC-WC Modifikasi
1	Marshall Standar	3	3
2	Marshall Rendaman	3	3
Jumlah		6	6
Total		**12**	

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

3.7 Pengujian Pembebanan Terendam Dalam Air

Tujuan pengujian pembebanan terendam dalam air pada penelitian ini untuk mengetahui Pengaruh Air dan Beban Awal terhadap campuran Aspal Beton. Benda uji yang dibuat dalam pengujian Campuran AC–WC Aspal Pen 60/70, dan AC-WC modifkasi (75% aspal penetrasi 60/70 + 25 % BNA) semua benda uji dengan Kadar Aspal Optimum. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat Marshall modifikasi dengan periode waktu waktu perendaman (30 menit, 60 menit dan 90 menit), serta variasi pembebanan yang berbeda (5%, 10%, dan 15% dari nilai runtuh uji Marshall). Tahapan pengujian sebagai berikut :

1. Benda uji di set dalam alat Marshall, lalu masukan kedalam wadah yang berisi air hujan.
2. Wadah berisi benda uji diletakan diatas plat penekan Marshall.
3. Pasang segmen atas penekan benda uji, dan kepala penekan yang terletak dibawah rangkaian proving ring dirapatkan dengan cup penekan benda uji seperti pengujian Marshall standar.
4. Berikan beban secara manual dengan memutar engkol alat Marshall sebesar 5 % dari nilai stabilitas maksimum Marshall, lalu amati setiap 1 menit dan catat nilai stabilitas dan flow. Akibat elastisitas campuran, kemungkinan jarum stabilitas akan kembali pada posisi semula, maka berikan lagi beban sampai jarum menunjukan pada beban awal 75 kg.
5. Langkah 4 dilakukan selama 30 menit, dengan jumlah benda 3 sampel untuk campuran AC-WC Pen 60/70 dan 3 sampel untuk campuran AC-WC modifikasi Pen 60/70 dan BNA.
6. Untuk pembebanan 10 % dan 15 % dari nilai stabilitas Marshall, dilakukan tahapan yang sama seperti poin 1 sampai dengan poin 5 diatas, begitu juga untuk periode waktu 60 dan 90 menit, hanya variasi pemberian beban dan periode waktunya saja yang berbeda.

Parameter yang diketahui dari pengujian ini adalah nilai stabilitas dan kelelehan yang dibaca setiap akhir menit penjugian Marshall modifikasi untuk mengetahui pengaruh dari pembanan dan air. Adapun jumlah benda uji yang

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

disiapkan untuk pengujian Marshall modifikasi terendaman dalam air sebanyak 54 benda uji seperti yang diuraikan dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Jumlah Benda Uji Pembebanan dan Terendam Dalam Air.

No	Berat Beban (N)	Waktu Perendaman	Jumlah Benda uji	
			Campuran AC-WC Pen 60/70	Campuran AC-WC Modifikasi
1	P x 5 %	0.5 jam	3	3
2	P x 5 %	1.0 jam	3	3
3	P x 5 %	1.5 jam	3	3
4	P x 10 %	0.5 jam	3	3
5	P x 10 %	1.0 jam	3	3
6	P x 10 %	1.5 jam	3	3
7	P x 15 %	0.5 jam	3	3
8	P x 15 %	1.0 jam	3	3
9	P x 15 %	1.5 jam	3	3
Catatan; P = Beban runtuh uji Marshall pada KAO*Mr*		Jumlah	27	27
		Total	**54**	

3.8 Pengujian Modulus Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Modulus*), Beban Berulang dengan Alat UMATA

Benda uji yang disiapkan untuk pengujian tarik tak langsung adalah campuran Laston AC-WC dengan Kadar Aspal Optimum berjumlah 18 benda uji untuk kedua jenis campuran. Masing-masing campuran (9 benda uji) dilakukan pengujian pembebanan dalam kondisi terendam dengan variasi pembebanan dan periode waktu perendaman sama seperti sub Bab 3.6 diatas,

Setelah dilakukan pengujian pembebanan dalam rendaman, benda uji dibungkus dengan plastik kedap air dengan maksud agar pori dan rongga benda uji yang terisi air masih tetap bertahan. Plastik pembungkus dibuka pada saat mau melakukan pengujian dengan alat Umata. Temperatur pengujian dengan alat Umata dilakukan pada suhu ruang sama dengan pengujian dengan alat Marshall

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

modifikasi (± 26 ^{0}C). Prosedur pengujian masing- masing benda uji dengan alat Umata pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

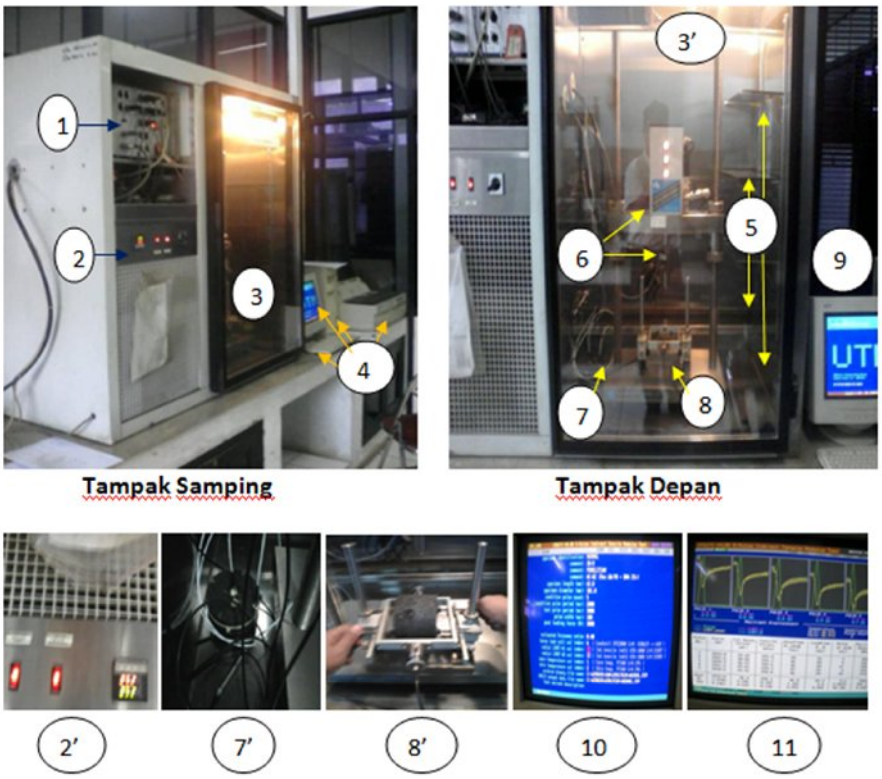
1. Tandai masing-masing permukaan benda uji dengan garis diameter yang saling tegak lurus.
2. Ukur permukaan diameter benda uji yang sudah ditandai dengan ketelitian 0.1 mm terdekat. Hitung rata-rata (D) 4 kali pengukuran.
3. Ukur tinggi benda uji 4 lokasi yang ditentukan dan dirata-ratakan.
4. Masukan benda uji kedalam ruang temperatur terkendali pada temperatur yang disyaratkan. Kondisikan selama ± 2 jam, agar temperatur luar dan inti (*core*) dari benda uji sama dengan temperature yang diinginkan.
5. Letakan benda uji yang pertama pada rangka pembebanan, pastikan garis diameter berada pada posisi vertical dan horizontal.
6. Pasang rangka alat pengukur deformasi, sehingga terletak pada bidang garis diameter garis horizontal untuk mengukur deformasi horizontal.
7. Lakukan Editing data melalui komputer.
8. Letankan batang pembeban yang lebarnya 0.5 inch (12.7 mm), tansduser diatur sedemikian rupa agar menyentuh benda uji secara sempurna dengan mengatur posisi LVDT1 dan LVDT 2 dalam pasisi nol yang dapat dilihat dalam layar monitor komputer.
9. Pembebanan awal dilakukan sebanyak lima pukulan dengan beban relativ kecil dengan tujuan untuk memastikan batang pembebanan telah benar-benar menyentuh benda uji dengan baik, agar pembacaan pengujian alat Umata mendapatkan hasil yang sesungguhnya.
10. Program sudah siap di *run* untuk pengujian dengan *peak loading force* yang sebenarnya. Hasil pengujian terbaca pada monitor, lalu masukan ke *file* komputer.
11. *Output* pembacaan alat Umata siap untuk di print.

Peak loading force yang dimasukan pada entri data program Umata disesuaikan dengan beban pengujian Marshall modifikaasi dalam kondisi terendam. Kecuali untuk pengujian standar diberikan *peak loading force* sebesar 3000 N.

Untuk pengujian menentukan modulus resilient standar, dibuat masing-masing campuran 3 benda uji. Pengujian modulus resilient standar dapat dijadikan

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

sebagai pembanding untuk pengujian benda uji hasil uji Marshall modikasi variasi pembebanan dalam kondisi terendam. Jumlah benda uji yang dilakukan dengan alat Umata, untuk variasi pembebanan dan periode waktu rendaman, maupun pengujian standar untuk masing-masing jenis campuran, dapat dilihat dalam Tabel 3.9. Peralatan Umata dan keterangannya terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar : 3.5 Peralatan Pengujian Modulus Resilient dengan UMATA.

Keterangan :

1. Prosessor Data (CDAS)
2/2'. Pengatur Temperatur
3/3'. Ruang Pengujian
4. Seperangkat Olah Data(Komputer)
5. Rak Pengkondisian Benda Uji
6. Pengatur Beban/Load Cell
7. Sampel Pengatur Temperatur
8/8'. Penjepit Benda Uji, $LVDT_{1,2}$
9. Monitor
10. Tampilan Proses Input Data
12. Tampilan Output Data

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tabel 3.9 Jumlah Benda Uji *Indirect Tensile Modulus*

No	Berat Beban (N)	Waktu Perendaman	Jumlah Benda uji	
			Campuran AC-WC Pen 60/70	CampuranAC-WC Modifikasi
1	P x 5 %	0.5 jam	1	1
2	P x 5 %	1.0 jam	1	1
3	P x 5 %	1.5 jam	1	1
4	P x 10 %	0.5 jam	1	1
5	P x 10 %	1.0 jam	1	1
6	P x 10 %	1.5 jam	1	1
7	P x 15 %	0.5 jam	1	1
8	P x 15 %	1.0 jam	1	1
9	P x 15 %	1.5 jam	1	1
10	Beban Standar (3000 N)	Tanpa direndam	3	3
Catatan; P = Beban runtuh uji Marshall pada KAO		Jumlah	12	12
		Total	**24**	

3.7. Pengujian Wheel Tracking

Pengujian *Wheel Tracking* merupakan simulasi dari pembebanan roda kendaraan pada lapisan perkerasan beraspal, dimana beban roda bergerak maju mundur melintas diatas benda uji yang dibuat berupa lapisan perkeranan beraspal.

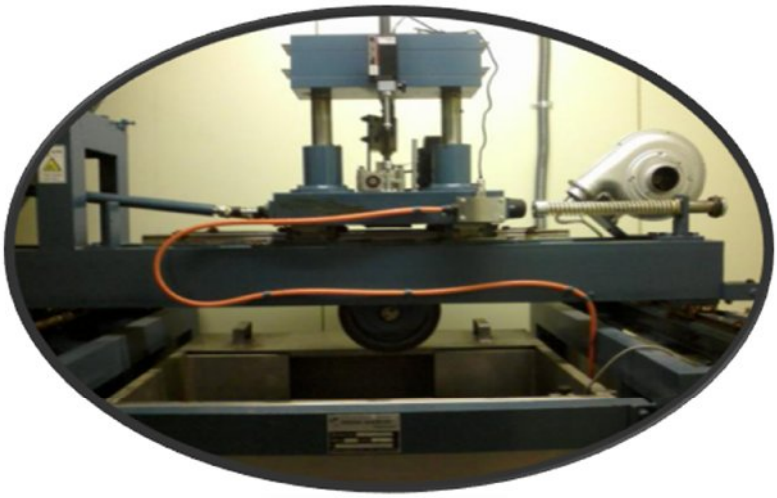
Benda uji berukuran 30 x 30 x 5 cm dan dipadatkan hingga mencapai kepadatan yang diperoleh dari analisa Marshall pada kadar aspal optimum dengan toleransi ± 2 %. Pemadatan benda uji dilakukan dengan alat pemadat yang sesuai standar uji Wheel Tracking. Pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan kontak roda pada permukaan benda uji seberat 4.4 kg/cm^2 yang setara dengan beban standar sumbu tunggal roda ganda 8.16 ton. Setiap benda uji dilewati 1.260 siklus roda dalam 1 jam pada kecepatan 21 siklus (42 lintasan) per menit. Pengujian masing-masing jenis campuran (satu benda uji Laston AC-WC Pen 60/70 dan satu Laston AC-WC Pen 60/70 Modifikasi BNA) dengan alat *Wheel Tracking Machine* (WTM) pada temperatur 60 °C dan prosedur pengujian sesuai

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement -Japan Road Association, JRA (1980).

Peralatan pengujian whell tracking seperti pada Gambar 3.6

A. Mesin Mixer Benda Uji B. Mesin Pemadat Benda Uji



C. Mesin Pengujian Whell Tracking

Gambar : 3.6 A,B,C, Peralatan Pengujian Well Tracking
Sumber. UPT PPP. Dinas Pekerjaan Umum DKI, Jakarta

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

3.7. Pengujian Visualisasi Mikro Capuran Aspal Beton

Pengujian untuk melihat karakteristik secara visualisasi mikro, dilakukan pengambilan gambar dengan alat *SEM* terhadap salah satu bagian permukaan benda benda uji. Semua benda uji dibuat dengan Kadar Aspal Optimum yang sama setiap jenis campuran. Kriteria benda uji yang dipersiapkan untuk diuji dengan alat SEM adalah sebagai berikut:

1. Campuran AC-WC PEN 60/70.
2. Campuran AC-WC Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %).
3. Campuran AC-WC Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) setelah dilakukan uji Marshall sampai runtuh (sampai dapat nilai stabilitas maksimum).
4. Campuran AC-WC Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %), setelah dilakukan pengujian pembebanan awal 5% dari beban runtuh. Pembebanan dilakukan secara berulang dalam kondisi terendam selama 1.5 jam, yang diamati setiap menit. Jika beban turun, dikembalikan lagi ke beban 5% pada awal menit berikutnya.

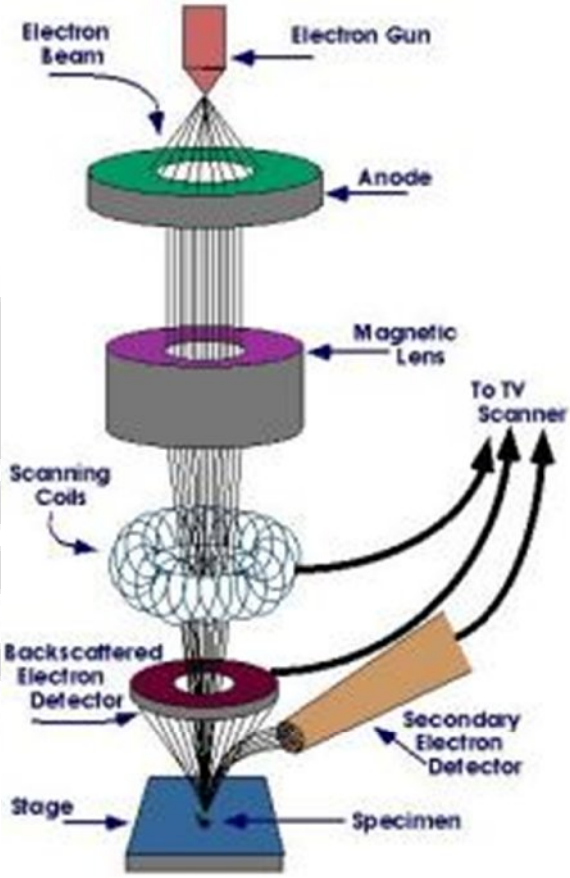
Dari empat kriteria benda uji diatas, sampel diambil pada bagian intinya dengan dimensi kurang lebih 9 x 9 x 7 mm dengan menggunakan mesin potong.

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut:

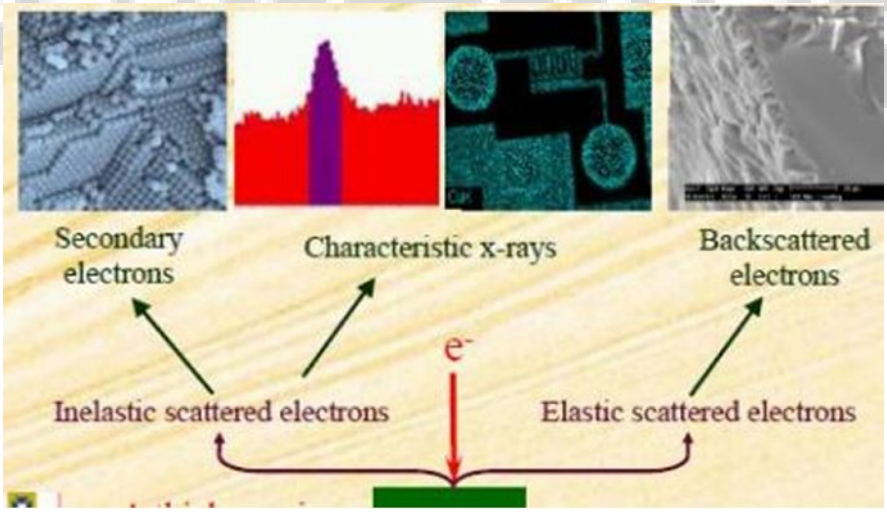
1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).
5. Secara lengkap skema prisip kerja SEM dijelaskan oleh Gambar 3.7.

Ada beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastis didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakteristik sinar X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered* electron. Sinyal-sinyal tersebut dijelaskan pada Gambar 3.8, berikutnya pengamatan dengan SEM terlihat pada Gambar 3.7, 3.8, 3.9

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

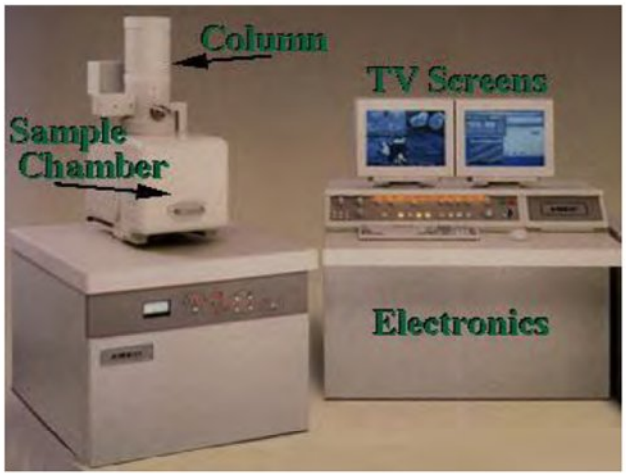


Gambar 3.7 Skema Kerja alat SEM



Gambar 3.8 Pantulan Sinyal-sinysl alat SEM

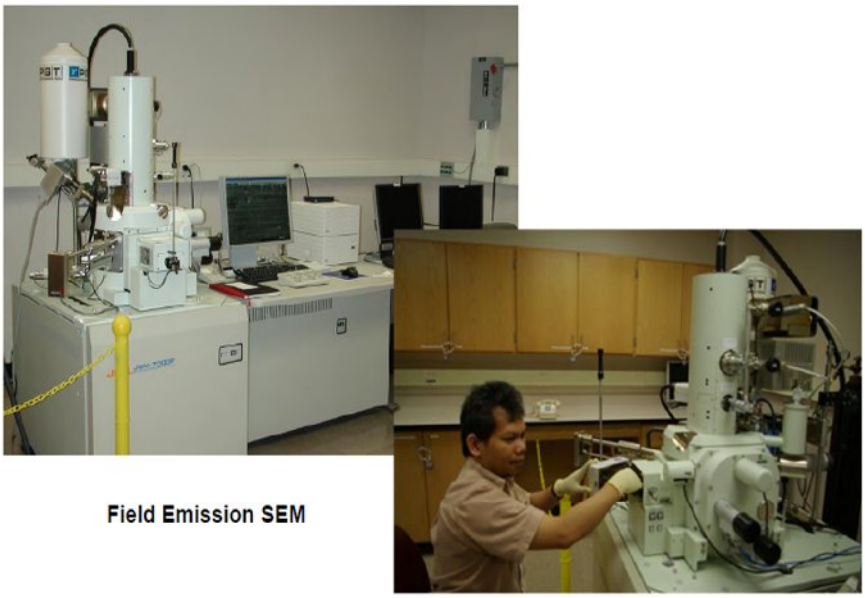
Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Perbesaran
OM 4x – 1000x
SEM 10x – 3000000x

Aplikasi :

- Mengamati struktur maupun bentuk permukaan yang berskala lebih halus
- Dilengkapi Dengan EDS (Electron Dispersive X ray Spectroscopy) ⟶
  - Dapat mendeteksi unsur2 dalam material.
  - Permukaan yang diamati harus penghantar elektron



Field Emission SEM

Gambar 3.9 Pengambilan Gambar dengan alat Scanning Electron Microscope (SEM)

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tabel 3.10 Rekapitulasi Kebutuhan Benda Uji

No.	Jenis Pengujian	Jenis Campuran AC-WC dan Jumlah Benda Uji		Jumlah Benda Uji
		Pen 60/70	Modifikasi	
1	Marshall	18	0	18
2	*Refusal Density Pen 60/70*	3	0	3
3	*Marshall Immersion*	6	6	12
4	Marshall Modifikasi, Variasi Pembebanan Terendam dalam Air	27	27	54
5	Pengujian UMATA, Benda uji hasil uji Marshal Modifikasi	9	9	18
6	Pengujian UMATA (standar)	3	3	6
7	Pengujian Whell Tracking	1	1	2
8	Scanning Electron Microscope-SEM	1	3	4
Total				**117**

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

BAB 4
DATA DAN ANALISIS

4.1. Karakteristik Material

4.1.1 Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70

Bahan pengikat campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal minyak penetrasi 60/70 produksi Cevron ex Singapura. Untuk mengetahui karakteristik aspal, dilakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan beberapa parameter yang disyaratkan dalam campuran aspal panas. Hasil pengujian material aspal penetrasi 60/70 tersebut diperlihatkan dalam tabel 4.1, semua parameter yang ditentukan dalam batas maksimun maupun minimum dapat dipenuhi persyaratannya.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Uji	Persyaratan		Metode Pengujian
			Min	Max	
1	Penetrasi, 25 °C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	67.75	60	79	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek, °C	51.5	48	58	SNI 06-2434-1991
3	Titik Nyala, °C	263	200		SNI 06-2433-1991
4	Berat Jenis	1.034	1		SNI 06-2411-1991
5	Daktilitas; 25°C; cm	>100	100		SNI 06-2432-1991
6	Kelarutan dalam trichlor Ethylen; % berat	99.58	99		SNI 06-2438-1991
7	Penurunan berat dengan TFOT; % berat	0.034		0.8	SNI 06-2440-1991
8	Penetrasi setelah penurunan berat; 0,1 mm; % asli	58.5	54		SNI 06-2456-1991
9	Daktilitas setelah penurunan berat; % asli	>100	50		SNI 06-2432-1991

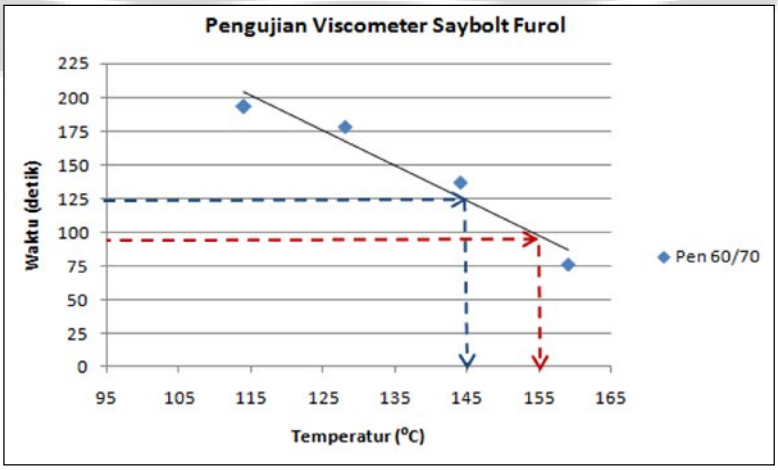
Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Pengujian viskositas aspal dengan menggunakan alat Viscometer Syaibolt Furol dilakukan pada temperatur 114 ^{0}C, 128 ^{0}C, dan 144 ^{0}C, dan 159 ^{0}C. Data hasil pengujian digambarkan dalam grafik yang merupakan hubungan antara viskositas aspal dengan temperatur, sehingga diketahui temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan campuran. Temperatur pencampuran ditentukan pada saat aspal mempunyai nilai Viscosimeter Saybolt Furol 85 ± 10 detik, sedangkan temperatur pemadatan ditentukan pada nilai Viscosimeter Saybolt Furol 140 ± 15 detik.

Dari grafik hubungan antara temperatur (°C) dan waktu (detik) menunjukan bahwa temperatur pencampuran pada viskositas aspal 85 ± 10 detik dicapai pada temperatur 155 ^{0}C dan temperatur pemadatan pada viscositas 140 ± 15 detik dicapai pada temperatur 145 ^{0}C. Nilai yang diperoleh dari hasil pengujian viskositas dapat dilihat dalam Tabel 4.2 dan Gambar 4.1 Grafik hubungan antara Viscosimeter Saybolt Furol dan temperatur.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Viscositas Aspal Penetrasi 60/70

No	Temperatur Pembacaan (^{0}C)	Waktu (detik)
1	114	193
2	128	178
3	144	137
4	159	76



Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara Viscosimeter Saybolt Furol dan Waktu.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Aspal BNA (Bitumen Natural Asphalt) dalam penelitian ini mengacu kepada spesifikasi hasil pengujian BNA (Puslitbang Jalan dan Jembatan (BNA / Aston Adhi Jaya), 2007, data spesifikasi dan karakteristik aspal BNA dapat dilihat dalam Tabel 4.3. Karakteristik dalam tabel tersebut juga dilihatkan persyaratan spesifikasi Binamarga untuk penggunaan aspal alam modifikasi, semuanya memenuhi persyaratan campuran aspal modifikasi.

Tabel 4.3 Karakteristik Aston BNA Blend dengan Ratio: 75/25

Parameter	Aspal minyak (Pen 60/70)	BNA	BNA BLEND (75/25)	Spec. Binamarga (Aspal Alam Modifikasi)
Penetrasi @25 ^{0}C dlm mm	66	3	51	45 -55
Titik lembek,. ^{0}C	48	121	55.8	Min. 55
Daktilitas, Cm	140	1	62	Min. 50
Kelarutan - TCE, %-W		58.1	90.3	Min. 90
Titik nyala, ^{0}C		250	300	Min. 225
Berat Jenis	1.03	1.496	1.109	Min. 1.0
Kehilangan berat, %		0.072	0.006	Max. 2.0
Pen Setelah LOH, %		33	84	Min. 55
Daktilitas setelah LOH		0.5	57	Min.50

Sumber, Puslitbang Jalan dan Jembatan (BNA / Aston Adhi Jaya), 2007

Analisis Karakteristik Aspal

Pengujian terhadap karakteristik aspal Pen 60/70 dan aspal BNA yang ditampilkan hasilnya dalam Tabel 4.1 dan 4.3. Hasil Pengujian aspal Pen 60/70 memenuhi persyaratan, demikian juga aspal BNA yang dirancang untuk campuran Modifikasi (aspal *Blend* Pen 60/70 dan BNA dengan ratio 75 % aspal Pen 60/70 dan 25 % aspal BNA). Dalam penelitian ini seperti pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.3, semuanya memenuhi spesifikasi yang dipersyaratan Departemen Pekerjaan Umum 2008.

Aspal yang dalam kondisi asli dari industri, dilakukan pengujian penetrasi pada kondisi sebelum dan sesudah proses penuaan (*aging*) terhadap aspal tersebut.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Nilai penetrasi Pen 60/70 pada pengujian standar pada temperatur 25 ºC sebelum RTFOT, didapat nilai penetrasi 67.75, rentang yang disyaratkan adalah 60 sampai 79. Sedangkan campuran (*blend*) aspal Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) nilai penetrasi 51. Akibat penambahan BNA penetrasi menjadi lebih kecil, sehubungan aspal BNA mempunyai sifat lebih keras dibanding aspal Pen 60/70 nilai tersebut masuk kedalam batas rentang spesifikasi yaitu45 – 55 mm, Departemen Pekerjaan Umum (2008).

Titik lembek aspal penetrasi 60/70 dibanding *BNA Blend* cukup signifikan perbedaannya yaitu 51.5 ºC dan 55.8ºC. Hasil pengujian tersebut menggambarkan bahwa aspal BNA lebih keras dari aspal minyak Pen 60/70. Karena aspal Pen 60/70 merupakan aspal hasil destilasi yang bersifat *viscoelastic*, sehingga akan melunak atau *viccous liquid* bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya akan mengeras pada temperatur yang lebih rendah. Demikian juga halnya dengan titik nyala, hasil pengujian Pen 60/70 adalah 263 ºC, sedangkan campuran Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) = 300 ºC. Hasil ini mengindikasikan bahwa terdapat kekurangan unsur minyak didalam aspal BNA. Sehingga dalam pengujian timbulnya nyala api lebih lama dibanding aspal Pen 60/70.

Berat jenis dari hasil pengujian untuk aspal Pen 60/70 diperoleh 1.034, aspal Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) nilai berat jenisnya 1.109, untuk kedua jenis aspal disyaratkan minimal 1(satu). Perbedaan berat jenis tersebut dapat di identifikasi dari spesifikasi aspal BNA, bahwa aspal BNA masih terkandung mineral halus berupa *filler hydropobic* yang merata dalam aspal BNA. Sehingga membuktikan berat jenis aspal aspal Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %) lebih besar dari berat jenisnya dibanding aspal Pen 60/70.

Untuk pengujian karakteristik aspal lainnya seperti terlihat dalam Tabel 4.1 dan 4.3, terdapat perbedaan karakteristik masing-masing nilai parameter hasil pengujian, hal tersebut adalah pengaruh dari komposisi kandungan bitumen yang terdapat dalam kedua jenis aspal juga ada perberbedaan. Namun kedua jenis aspal tersebut sudah memenuhi persyaratan spesifikasi campuran aspal panas untuk campuran AC-WC PEN 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi (mengunakan aspal PEN 60/70 sebanyak 75 % dengan aspal BNA 25 %).

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

4.1.2 Pengujian Sifat Fisik dan Karakteristik Agregat

Bahan agregat kasar, sedang, dan halus (abu batu) yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis batu pecah yang diperoleh dari *quary* AMP PT. Hutama Prima di Kabupaten Bogor Jawa Barat. Batuan tersebut berasal Rumpin-Bogor hasil pengolahan batu pecah dengan menggunakan mesin pemecah batu (*crushed rock*). Pecahan batu tersebut disaring sesuai dengan kebutuhan yang terbagi dalam beberapa fraksi dan dikelompokan kedalam golongan agregat kasar (split), agregat sedang (*screen*) dan agregat halus (abu batu).

Untuk mengetahui karakteristik dan sifat-sifat fisik agregat; kasar, sedang dan agregat halus tersebut, dilakukan pengujian sesuai parameter yang ditentukan seperti; nilai penyerapan, berat jenis, abrasi, bentuk/properti agregat, dan lainnya seperti hasil pengujian yang diperlihatkan dalam tabel 4.4, dimana agregat yang digunakan memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam pesifikasi Departemen Pekerjaan Umum, 2008.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat.

No	Pengujian	Hasil Uji	Persyaratan		Metode Uji
			Min	Maks	
a. Agregat kasar					
1	penyerapan (%)	2.00	-	3	SNI 03-1969-1990
	a. Berat jenis bulk	2.59	2.5	-	
	b. Berat jenis SSD	2.64	2.5	-	
	c. Berat jenis semu	2.72	2.5	-	
	d. Berat jenis efektif	2.625	2.5	-	
2	Abrasi degan mesin Los Angeles (%)	13.96	-	40	SNI 03-2417-1991
3	Impact (%)	18.56	-	30	
4	Angularitas, %	> 95	95/90		SNI 03-6877-2002
5	Kelekatan agregat terhadap Aspal (%)	99	95	99	SNI 03-2439-1991
6	Partikel pipih (%)	8.42	-	10	ASTM D-4791
7	Partikel lonjong (%)	6.18	-	10	
b. Agregat Halus					
1	penyerapan (%)	0.586	-	3	SNI 03-1970-1990
2	a. Berat jenis bulk	2.57	2.5	-	
	b. Berat jenis SSD	2.63	2.5	-	
	c. Berat jenis semu	2.75	2.5	-	
	d. Berat jenis efektif	2.635	2.5	-	

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Lanjutan Tabel 4.4

3	Nilai setara pasir (%)	57.56	50	-	SNI 03-4428-1997
c. Filter					
1	Berat jenis	2.51	2.5		SNI 03-1970-1990
d. Agregat Gabungan					
1	a. Berat jenis bulk	2.567	2.5	-	SNI 03-1970-1990
	b. Berat jenis SSD	2.664	2.5	-	
	c. Berat jenis semu	2.728	2.5	-	
	d. Berat jenis efektif	2.625	2.5	-	

Analisa Karakteristik Agregat

Dalam Tabel 4.4, hasil pengujian karakteristik agregat kasar, halus dan filler yang dugunakan dalam campuran. Semua hasil pengujian memenuhi persyaratan spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2008:

1. Berat jenis

   Hasil pengujian berat jenis yang dilakukan setiap fraksi agregat, yaitu agregat kasar, halus dan filler. Untuk agregat kasar diperoleh berat jenis bulk 2.59, agregat halus 2.57 dan filler 2.562. Persyaratan spesifikasi untuk semua jenis agregat adalah 2.5, berarti berat jenis semua fraksi agregat yang diuji memenuhi persyaratan.

2. Penyerapan

   Nilai yang penyerapan yang diperoleh dari agregat kasar 2% dan halus 2.27 %, nilai ini masuk persyaratan yaitu maksimum 3 %.

3. Abrasi dengan mesin Los Angeles

   Agregat mempunyai kekerasan/abrasi, yang mana nilai ini perlu diketahui sejauh mana agregat yang dipakai untuk material campuran perkerasan jalan dapat digunakan. Hasil pengujian nilai kekeran dengan mesin Los Angeles adalah 13.96 %. Persyaratan maksimum 40 % (sesuai SNI 03-2417-1991). Berarti agregat mempunya sifat kekuatan yang cukup kuat, sehingga tidak akan mudah pecah jadi butiran halus, dengan demikian gradasi campuran tetap terjaga serta saling *interlocking* sesama agregat selama pemadatan maupun pengaruh beban lalulintas.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

4. Impact

   Hasil pengujian impact didapat nilainya 18.56, persyaratan yaitu maksimum 30. Kekerasan agragat yang dipakai juga sanggup menahan beban kejut kendaraan dan tidak mudah pecah.

5. Angularitas

   Pengujian ini merupakan suatu pengukuran penentuan persentase agregat yang mempunyai bidang pecah, hasil pengujian didapat > 95 %, persyaratan minimum 95/90. Berarti agregat yang dipakai mempunyai kekesatan atau kekasaran permukaan sehingga akan menambah kekuatan dalam campuran, agar agregat tetap berada dalam posisinya jika dibandingkan dengan permukaan agregat yang licin.

6. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

   Persyaratan spesifikasi menetapkan kelekatan agregat terhadap aspal minimum adalah 95 %, hasil pengujian diamati tidak terlihat adanya ikatan aspal yang terlepas dari agregat (> 99%). Hasil ini menunjukan agregat yang diuji mempunyai karakteristik kelekatan terhadap aspal serta ketahanan terhadap pemisahan aspal (*film-stripping*) yang tinggi. *Stripping* yaitu pemisahan aspal dari agregat terhadap pengaruh air. Sehingga hal ini juga dapat mengantisipasi terjadinya *raveling* dan *pthole* pada permukaan perkerasan jalan.

7. Partikel Pipih dan Kelonjongan

   Agregat yang mempunyai nilai indek kepipihan dan kelonjongan dalam campuran tidak akan mudah patah akibat pemadatan dan beban lalulintas sehingga dapat mempertahankan gradasi agregat dalam campuran seperti semula. Nilai indek kepipihan dan kelonjongan dari hasil pengujian 8.42% dan 6.18 %, dalam persyaratan spesifikasi ASTM D-4791 dan RSNI T - 01-2005 maksimum 10 %, dengan demikian agregat yang dipakai dalam penelitian ini memenuhi persyaratan.

8. Nilai Setara Pasir

   Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2008, menetapkan batasan minimum nilai setara pasir adalah 50 %. Jika nilai setara pasir lebih kecil dari 50% tidak layak dijadikan bahan campuran perkerasan jalan, karena

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

kondisi seperti itu mengindikasikan terdapat banyak lempung atau lanau dan patikel lain dalam agregat halus. Sehingga akan sangat memberikan pengaruh yang jelek terhadap kinerja perkerasan, seperti berkurangnya ikatan antara aspal dengan agregat. Dari hasil pengujian didapat nilai Setara Pasir 57.56 %, berarti agregat halus masih bisa digunakan untuk campuran aspal panas.

Semua karakteristik dan sifat-sifat agregat yang akan digunakan untuk campuran AC-WC memenuhi persyaratan yang ditentukan, kecuali hasil pengujian analisa ayak tidak masuk persyaratan untuk campuran AC-WC, terutama pengujian lolos saringan no. 200 untuk ; (i) agregat kasar yang lolos 1.51 %, sedangkan persyaratan maksimum 1%. (ii) agregat halus terdapat yang lolos 13.95 %, persyaratan maksimum 8 %. Dalam mengatasi hal tersebut, agregat kasar dan halus dilakukan pencucian dengan membuang material berupa lanau yang melayang dalam air.

Gradasi agregat yang dipakai dalam penelitian ini adalah gradasi spesifikasi fuller AC-WC seperti terlihat dalam Tabel 3.4.

4.2. Perencanaan Campuran dan Pengujian Marshall AC-WC

Gradasi Agregat yang digunakan dalam campuran Laston Lapis Aus (AC/WC) seperti yang dirancang dalam Tabel 3.5 yang mengacu kepada Gradasi Spesifikasi Fuller Campuran Aspal Panas Departemen Pekerjaan Umum, 2008.

Dalam menentukan Kadar Aspal Optimum, dibuat enam seri kadar aspal, setiap seri 3 buah benda uji, yaitu 4.5% ; 5.0% ; 5.5% ; 6.0%, 6.5%, dan 7%.

Lalu dicari kadar aspal perkiraan (Pb) didapat dari persamaan 3.1 yaitu;

$$Pb = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + K$$

dimana :
- Pb = Perkiraan bitumen
- CA = *Course Agregate* (Agregat Kasar)
- FA = *Fine Agregate* (Agregat Halus)
- FF = *Fine Filler* (Bahan Pengisi)
- K = Konstanta (0.5 sampai dengan 1) dalam penelitian ini konstanata diambil 0.75

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Pb = 0.035 (%CA = 57) + 0.045 (% FA = 37) + 0.18 (%FF = 6) + 0.75
= 5.49 % ≈ 5.5 %.

4.2.1 Pengujian Marshall Campuran AC-WC Aspal Penetrasi 60/70

Masing-masing seri kadar aspal dalam campuran dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum. Pengujian menggunakan metoda Marshall dan dilengkapi dengan metoda Kepadatan Mutlak. Parameter yang didapat dari hasil pengujian Marshal adalah; stabilitas, kelelehan (*Flow*), hasil bagi Marshall MQ (*Marshall Quotient,* sedangkan parameter lain seperti; berat isi, kepadatan, volume rongga dalam campuran (VIM), volume rongga dalam mineral agregat (VMA), VFB, dihitung dengan persamaan volumetrik.

Untuk menentukan volume rongga dalam campuran pada kondisi membal/*revusal* dengan notasi VIM*ref,* diperoleh dari hasil pengujian dengan metoda Kepadatan Mutlak (*Refusal Density*). Rumus-rumus yang digunakan dalam analisis perameter hasil uji Marshall dapat dilihat pada bagian bawah hasil uji Marshall dalam Lampiran A.

Setiap variasi kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu campuran aspal penetrasi 60/70, dilakukan pencampuran benda uji sampai pada temperatur 155 ^{o}C lalu dipadatkan pada temperatur 145 ^{o}C menggunakan alat pemadat Marshall dengan jumlah tumbukan 2 x 75, yaitu satu bidang permukaan benda uji masing-masing 75 kali tumbukan. Data karakteristik dari pengujian enam variasi kadar aspal terangkum pada Tabel 4.5 berikut ini.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tabel 4.5 Hasil Analisis Marshall Campuran AC-WC PEN 60/70

Karakteristik Campuran	Hasil Pengujian						Spesifikasi
Kadar Aspal, %	**4.5**	**5.0**	**5.5**	**6.0**	**6.5**	**7.0**	
Berat Isi; t/m3	2.241	2.269	2.285	2.300	2.315	2.309	-
V I M; %	8.71	6.92	5.6	4.26	2.98	2.6	3,5-5,5 %
V I M Refusal; %	-	5.89	3.4	2.31	-		>2,5 %
V M A; %	18.47	17.90	17.75	17.62	17.54	18.19	>15 %
V F B; %	52.83	61.32	68.47	75.80	83.03	86.0	>65 %
Stabilitas; Kg	1388.9	1434.0	1486.2	1512.4	1473.2	1411.4	>800 Kg
Kelelahan; mm	3.03	3.31	3.88	4.45	4.53	4.79	>3 mm
Marshall Quotient; Kg/mm	460	432.82	383.2	340	325.6	294.9	>250 Kg/mm

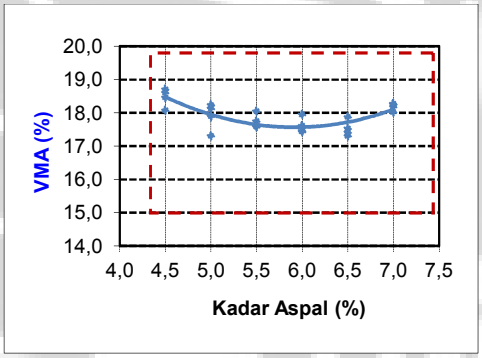
Berdasarkan data pengujian Marshall tersebut, dilakukan pengujian *Revusal Density*. Benda uji dibuat dengan 3 variasi kadar aspal, yang mengacu kepada kadar aspal pada VIM 6%, dua benda uji lainnya 0,5% di atas dan di bawah nilai kadar aspal pada VIM 6%. Penentuan kadar aspal untuk pengujian kepadatan mutlak (PRD) (Persentase *Refusal Density*), ditentukan berdasarkan trend kurva VIM uji Marshal dan disesuaikan dengan kebutuhan apakah harus +0,5% dan -0,5% dari nilai kadar aspal pada VIM 6% atau +1,0% dari VIM 6%. Pada pengujian kepadatan mutlak ini, untuk campuran Pen 60/70 menggunakan kadar aspal 5 %, 5.5 % dan 6.0 %. Temperatur pencampuran disamakan dengan pencampuran benda uji Marshall, bedanya adalah pada volume benda uji dan jumlah tumbukan pemadatan. Hasil komposisi volumetrik dari pengujian Kepadatan Mutlak ditunjukkan pada Lampiran B.

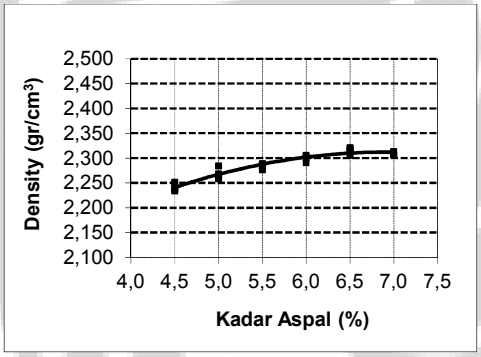
Kadar aspal optimum (KAO) ditentukan sebagai nilai tengah, dari rentang kadar aspal maksimum dan minimum yang memenuhi persyaratan spesifikasi. Pada penelitian ini KAO dibedakan menjadi dua jenis yaitu KAOMarshall (KAO*Mr*) dan KAO*Refusal*(KAO*Ref*). KAO ditentukan dengan metode *Barchat* yang merupakan rentang kadar aspal, yang memenuhi semua kriteria yang disyaratkan untuk campuran beraspal panas, yaitu: VIM*Mr*, VIM*Refusal* (VIM*Ref*), VMA, VFB, Stabilitas, Kelelehan dan Marshall Quotient(MQ). Untuk

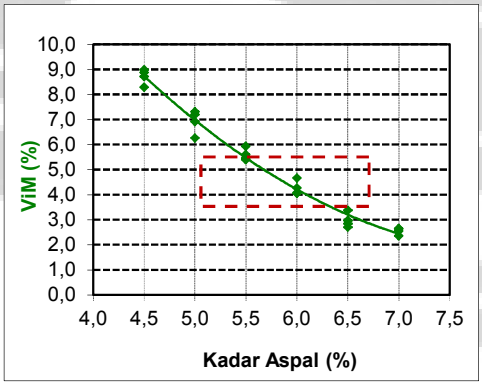
Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

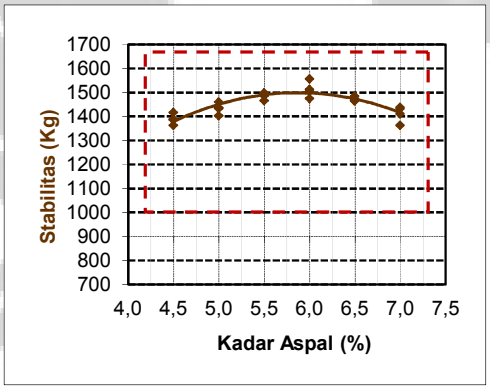
KAO*Mr*, parameter VIM*Ref* tidak dijadikan sebagai syarat, tetapi untuk KAO*Ref*, parameter VIM*Ref* menjadi salah satu syarat.

Setelah semua data diolah, hasilnya digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter yang dicari lainnya. Hasil lengkap pengujian Marshall dan pengujian Kepadatan Mutlak, yang dibatasi dengan garis putus-putus adalah batasan parameter yang memenuhi persyaratan campuran beraspal untuk setiap variasi kadar aspal dalam campuran. Dalam Gambar 4.2 adalah parameter yang disyaratkan, dan Gambar 4.3, nilai-nilai parameter yang disyaratkan direntang dalam gambar barchart untuk menentukan kadar aspal optimum yang akan digunakan dalam campuran selanjutnya.

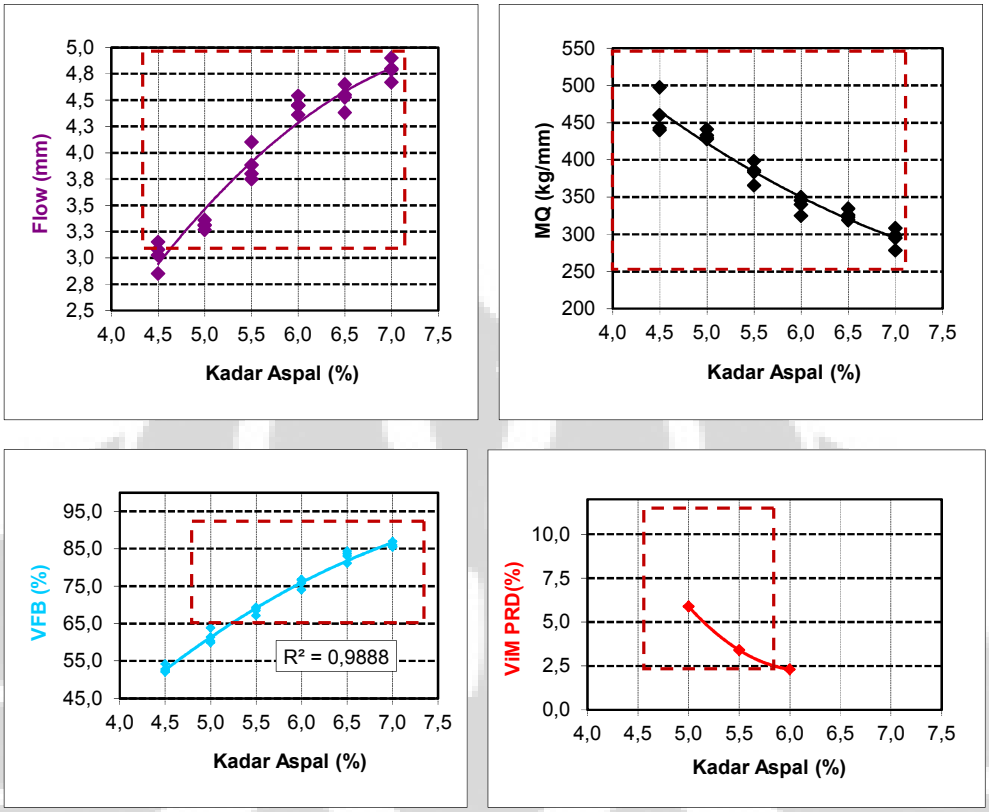




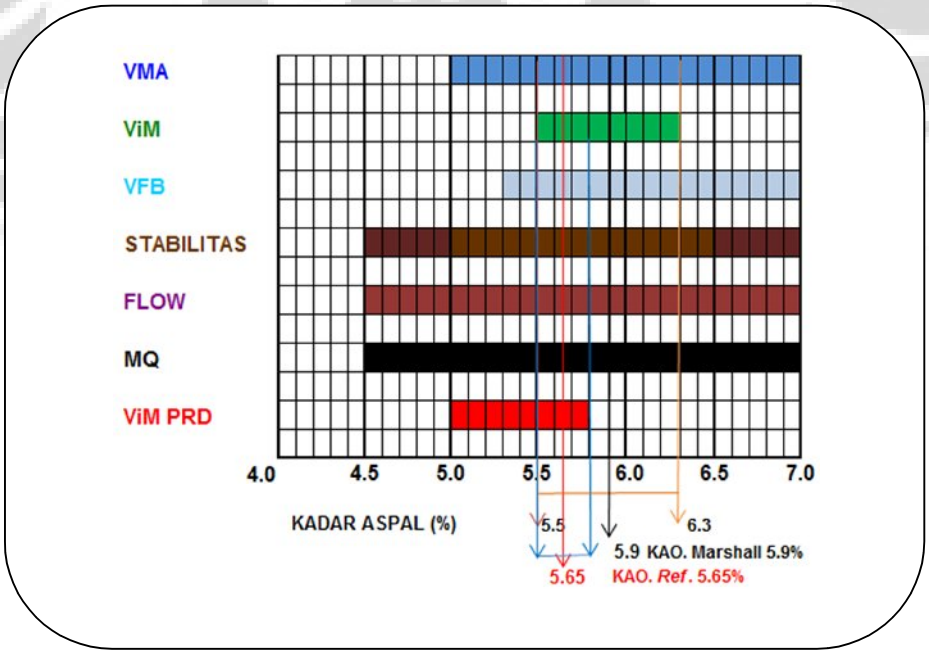




Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Marshall dan Kepadatan Mutlak Campuran (AC-WC Pen 60/70)



Gambar 4.3 Barchart Penentuan Kadar Aspal Optimum.

Hasil pengujian campuran AC-WC Pen 60/70, didapat KAO*Mr* 5,9 % dan KAO*Ref* 5.65 %. KAO*Ref* dalam penelitian ini dilakukan sebagai kontrol untuk mengetahui Vim*Ref,* apakah VIM*Ref* memenuhi persyaratan (2.5 %).
Untuk pengujian penelitian selanjutnya, campuran benda uji yang menggunakan KAO*Mr*.

Parameter yang sangat menentukan dalam penentuan Kadar Aspal Optimum adalah VIM, VMA, VFB, dan VIM_{Ref}. Parameter VIM_{Ref} merupakan parameter yang disyaratkan dalam spesifikasi terbaru dari Departemen Pekerjaan Umum. Untuk mendapatkan nilai parameter tersebut dilakukan analisis volumetrik. Penggunaan beberapa variasi kadar aspal pada campuran sangat menentukan parameter volumetrik dari campuran, variasi ini juga merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kinerja campuran beraspal diantaranya stabilitas, kekakuan, dan durabilitas.

Analisis terhadap karakteristik volumetrik campuran sebagai berikut:

1. Rongga Dalam Campuran (*Void in Mixture*)

   Kandungan VIM menunjukkan persentase rongga udara dalam campuran antar butiran agregat yang terbungkus aspal. Nilai VIM berhubungan dengan durabilitas campuran. Apabila nilai VIM terlalu tinggi maka campuran akan cenderung rapuh, mempunyai kecendrungan retak secara dini dan kemungkinan terjadi pengelupasan partikel. Sedangkan nilai VIM yang kecil akan meningkatkan ketahanan campuran terhadap pengerasan aspal dan pengelupasan partikel akibat oksidasi. Tetapi apabila nilai VIM terlalu kecil, akan menyebabkan campuran tidak stabil dan kemungkinan terjadi kelelehan plastis yang lebih besar. Hal ini disebabkan tidak tersedianya ruang yang cukup untuk menampung ekspansi aspal akibat pemadatan lanjutan oleh lalu lintas, maka perlu pembatasan nilai VIM dalam campuran.

   Nilai VIM dipengaruhi oleh berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) dimana nilai berat jenis maksimum campuran ini dipengaruhi oleh berat jenis efektif agregat (G_{se}) serta proporsinya dalam campuran pada setiap ukuran agregat. Adanya pembatasan berat jenis agregat

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

dimaksudkan sebagai upaya untuk memenuhi batasan rongga yang disyaratkan dalam perencanaan campuran beraspal panas. Pengaruh perubahan kadar aspal terhadap rongga dalam campuran (VIM) dan VIM *Refusal* disajikan pada Gambar 4.2

Secara umum dengan penambahan kadar aspal akan menyebabkan nilai VIM semakin turun, ini menunjukkan bahwa campuran tersebut semakin rapat. Sejalan dengan bertambahnya kadar aspal, maka akan menyebabkan jumlah aspal yang menyelimuti agregat menjadi lebih banyak sehingga mengurangi rongga dalam campuran.

Sebagai simulasi dari pemadatan lanjutan oleh beban lalu lintas adalah kepadatan mutlak. Nilai VIM*ref* lebih kecil akibat berkurangnya rongga dalam campuran.VIM pada pemadatan standar (Marshall 2x75 tumbukan), sedangkan VIM*ref* (pemadatan dengan alat getar listrik setara 2x400 tumbukan pada pemadatan alat uji Marshall), maka akibat pemadatan tersebut rongga udara dalam campuran akan berkurang. Penurunan rongga udara dalam campuran (VIM) dapat menjadi indikasi ketahanan campuran terhadap deformasi plastis.

2. Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)

Rongga dalam mineral agregat (VMA) adalah ruang di antara partikel agregat dari suatu campuran perkerasan yang dipadatkan, termasuk di dalamnya rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat) (The Asphalt Institute, 1993).

Nilai VMA menunjukkan banyaknya rongga yang terisi aspal VFB pada campuran sehingga sangat mempengaruhi keawetan campuran akibat berkurangnya nilai VIM. VMA dipengaruhi oleh berat jenis bulk agregat, berat jenis bulk campuran, dan kadar agregat. Nilai kepadatan campuran yang besar menyebabkan nilai VMA yang kecil, akibatnya aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan tebal aspal yang tipis. Dengan demikian agregat dalam campuran mudah lepas dan tidak kedap air, sehingga akan mudah terbentuknya *raveling* dan *pothole*.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

3. Rongga Terisi Aspal (*Void Filled with Bitumen*)

   Kadar aspal dan tebal atau tipisnya aspal secara volumentrik dapat dinyatakan dalam besaran volume aspal dalam campuran. Besarnya nilai VFB berpengaruh terhadap keawetan dari campuran beraspal. Nilai VFB merupakan prosentase dari nilai VMA setelah dikurangi oleh VIM atau disebut juga volume aspal efektif. VFB juga membatasi volume rongga udara yang diijinkan untuk campuran yang mempunyai nilai VMA mendekati nilai minimum. Kriteria VFB membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. Pengaruh utama VFB adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan kurva VMA, VFB terhadap perubahan kadar aspal.

Analisis Karakteristik Marshall

1. Stabilitas (*Stability*)

   Stabilitas merupakan parameter empiris untuk mengukur kemampuan dari campuran aspal untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh suatu pembebanan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas diantaranya adalah gradasi agregat dan kadar aspal. Selain itu stabilitas dipengaruhi oleh *interlocking*, adhesi, dan *internal friction*.

   Ditinjau dari grafik stabilitas gambar 4.2, nilai stabilitas akan meningkat seiring meningkatnya kadar aspal hingga mencapai nilai maksimum dan setelah itu nilainya menurun. Hal ini menunjukan bahwa stabilitas maksimum akan dicapai pada kadar aspal tertentu atau kadar aspal maksimum. Nilai stabilitas tersebut diukur langsung dari pengujian dengan alat uji Marshall.

2. Kelelehan (*Flow*)

   Kelelehan (*Flow*) merupakan parameter empiris yang menjadi indikator terhadap kelenturan atau perubahan bentuk plastis campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban. Tingkat kelelehan campuran dipengaruhi oleh kadar aspal dalam campuran, temperatur, viskositas aspal dan bentuk partikel agregat. Dari analisis Marshall, nilai kelelehan cendrung naik

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Campuran yang mempunyai nilai kelelehan relatif rendah pada Kadar Aspal Optimum, biasanya memiliki daya tahan deformasi yang lebih baik. Nilai *flow* yang rendah bila dikombinasikan dengan stabilitas yang tinggi, menunjukan suatu campuran yang lebih kaku. Perbandingan nilai kelelehan semua campuran terhadap perubahan kadar aspal ditunjukan pada Tabel 4.5.

3. Marshall Quotient (MQ)

   Nilai yang didapat dari hasil bagi stabilitas dan flow dikatan nilai MQ, atau sering juga disebut hasil bagi Marsall. Dengan menganalisa hasil pengujian Marshall beberapa variasi kadar aspal terlihat nilai MQ semakin menurun seiring naiknya kadar kadar aspal. Tingginya kadar aspal, nilai kelelehan plastis terhadap campuran cendrung lebih tinggi, maka nilai MQ yang didapat juga lebih kecil.

4.2.2 Karakteristik Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi (75% Pen 60/70 + 25% BNA)

Penelitian selanjutnya mengkaji karakteristik dua jenis campuran yaitu campuran AC-WC aspal Pen 60/70, dan campuran AC-WC aspal Pen 60/70 (75%) + BNA (25%) yang disingkat dengan istilah campuran AC-WC modifikasi. Pengujian kedua jenis campuran tersebut mengunakan KAO*Mr* Pen 60/70, yaitu 5.9 %.

Dari pemakaian aspal 5.9 % sesuai kadar aspal optimum dilakukan pencampuran yang memakai aspal Pen 60/70 sebanyak 75 % dan BNA 25%. Maka berat pemakaian aspal Pen 60/70 hasilnya 0.75 x 5.9% = 4.25%, dan untuk BNA 0.25 x 5.9 % = 1.475%. Kandungan bitumen dalam BNA adalah 55%-60%, lainnya mineral berupa *filler hydrophobic* (40%-45%) berarti jumlah pemakaiaan aspal BNA dalam campuran ± (0.6 x 1.474% = 0.885%). Penambahan filler dalam campuran yang berasal dari BNA ± (0.4 x 1.474% = 0.59 %). Sehubungan hasil perancangan gradasi campuran menggunakan filler yang berasal dari abu batu sebanyak 6%, maka pemakaian filler abu batu dalam campuran AC-WC modifikasi dikurangi 0.59 % agar tidak terjadi penggemukan

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

filler didalam campuran, sehingga gradasi rencana persentase filler sebanyak 6 % tetap dipertahankan.

Pengujian dilakukan dengan membuat 3 benda uji untuk masing-masing jenis campuran seperti hasil dalam Tabel 4.6, dengan proses pengujian sama seperti pengujian Marshall standar. Data dan hasil pengujian dapat dilihat dalam Lampiran C1, dan rangkuman hasilnya terlihat dalam, dan sekalian disandingkan nilai karakteristik hasil pengujian kedua jenis campuran untuk bisa diamati perbedaan karakteristiknya.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Marshall pada KAO*Mr* 5.9%

Karakteristik Campuran	**Hasil Pengujian Campuran AC-WC**		**Syarat Spesifikasi**
	PEN60/70	**Modifikasi**	
Kadar Aspal, %	**5.90**	**5.90**	
Berat Isi; t/m3	2.301	2.303	-
V I M; %	4.38	4.31	3,5-5,5 %
V M A; %	17.514	17.453	>15 %
V F B; %	74.99	75.31	>65 %
Stabilitas; Kg	1496.33	1687.99	>800 kg & >1000 kg
Kelelahan; mm	4.43	3.87	>3 mm
Marshall Quotient; Kg/mm	438.1	482.2	>250 & > 300 Kg/mm

Analisis Karakteristik Campuran AC-WC Aspal Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi

Seperti yang diperlihatkan hasil pengujian Marshall dalam tabel 4.6, Kedua jenis campuran dengan menggunakan KAO yang sama (5.9%), memenuhi persyaratan Departemen Pekerjaan Umum 2008. Hasil pengujian analisa volumetrik terlihat perbedaan yang tidak begitu signifikan, seperti nilai Berat Isi, VIM, VMA, dan VFB, seperti uraian berikut ini:

1. Berat Isi, untuk campuran AC-WC Pen 60/70 didapat 2,301 t/m^3, dan campuran AC-WC modifikasi BNA = 3,303 t/m^3. Berat isi campuran Pen 60/70 lebih ringan 0.087 % dibanding campuran AC-WC modifikasi

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Perbedaan ini dapat disebabkan karakteristik berat jenis aspal Pen 60/70 lebih rendah nilainya dibanding aspal BNA.

2. VIM, persentase VIM dalam campuran AC-WC modifikasi lebih kecil 1.62 % dibanding campuran Pen 60/70, hal ini dapat disebabkan bahwa dalam aspal BNA terdapat kandungan filler, sehingga akan mengurang rongga dalam campuran. Demikian juga halnya dengan nilai VMA, campuran AC-WC modif lebih kecil 0.34 % dibanding campuran Pen 60/70, dimana rongga yang terdapat dalam agregat akan dimasuki oleh filler, sehingga akan mengurangi persentase VMA itu sendiri.
3. Nilai VFB adalah persentase rongga terisi aspal efektif diantara partikel agregat, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Berdasarkan spesifikasi untuk campuran AC-WC nilai VFB dibatasi minimal 65% terhadap VMA. Pengaruh utama VFB dalam perencanaan campuran adalah membatasi nilai VMA dan kadar aspal maksimum. Perbedaan nilai VFB antara kedua jenis campuran 0.43 % lebih tinggi campuran AC-WC modifikasi.
4. Nilai Stabilitas antara kedua jenis campuran terlihat perbedaan yang cukup signifikan, campuran AC-WC modifikasi didapat 1687.99 Kg dan campuran Pen 60/70 = 1496.33 Kg, lebih besar 12.81 % campuran AC-WC modifikasi dibanding campuran Pen 60/70. Perbedaan tersebut disebabkan kandungan *filler hydrophobic* dalam jumlah yang optimal serta tersebar merata dalam BNA akan membentuk *mastic* aspal menjadi lebih kuat (*Aston Adhi Jaya,2010*). Pengaruh lain yang menyebabkan campuran AC-WC modifikasi memiliki nilai stabilitas yang tinggi adalah BNA mempunyai titik lembek dan daya kohesi yang tinggi, sifat tersebut akan menaikan stabilitas dinamis campuran, selain itu juga dapat mengurangi kemungkinan *reveling* sehingga membuat campuran menjadi lebih kaku. Nilai stabilitas kedua jenis campuran berada diatas spesifikasi AC-WC *Modified* yang disyaratkan Dep. Pekerjaan Umum, yaitu >800 kg untuk campuran AC-WC Pen 60/70 dan >1000 kg untuk campuranAC-WC modifikasi. Seperti terlihat dalam tabel 4.6.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

5. Kelelehan merupakan parameter empiris yang menjadi indikator terhadap kelenturan atau perubahan bentuk plastis campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban. Tingkat kelelehan campuran dipengaruhi oleh kadar aspal dalam campuran, temperatur, viskositas aspal dan bentuk partikel agregat. Nilai kelelehan campuran AC-WC modifikasi didapat 3.87 mm dan campuran AC-WC Pen 60/70 = 4.43mm, selisih nilai kelelehan lebih rendah 12.64 % campuran AC-WC modifikasi dibanding campuran Pen 60/70. Campuran yang mempunyai nilai kelelehan relatif rendah pada Kadar Aspal Optimum, biasanya memiliki daya tahan terhadap deformasi yang lebih baik. Nilai *flow* yang rendah bila dikombinasikan dengan stabilitas yang tinggi, menunjukan suatu campuran AC-WC modifikasi lebih kaku.
6. Marshall Quotient yang dihasilkan kedua jenis campuran terlihat bahwa nilai MQ campuran AC-WC modifikasi lebih besar dibandingkan nilai MQ campuran Pen 60/70 sebasar 10.07%. Semakin tinggi nilai MQ, semakin rentan terhadap keretakan, sebaliknya semakin rendah nilai MQ kelelehan plastis semakin tinggi dan stabilitas dinamis lebih rendah.

   Perbedaan nilai stabilitas terlihat dalam Gambar 4.4

4.3 Indek Kekuatan Marshall Sisa (*Marshall Index of Retained Strength*)

Indek Kekuatan Marshall Sisa, dilakukan pengujiannya pada KAO*Mr* (5.9%) untuk kedua jenis campuran, yaitu 3 benda uji untuk campuran AC-WC Pen 60/70 dan 3 benda uji untuk campuran AC-WC modifikasi. Sebelum dilakukan pengujian dengan alat Marshall, kedua jenis benda uji direndam selama 24 jam dalam water bath pada temperatur 60^{o}C.

Dengan membandingkan stabilitas Marshall standar dengan stabilitas Marshall *Immersion* (setelah perendaman 24 jam), diperoleh Indeks Kekuatan Sisa Marshall untuk masing-masing jenis campuran terlihat dalam Tabel 4.7. Data dan hasil perhitungan uji perendaman Marshall, diperlihatkan pada Lampiran C2.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Marshall Immersion.

Karakteristik Campuran	Hasil Pengujian Campuran AC-WC		Syarat Spesifikasi
	PEN 60/70	Modifikasi	
Kadar Aspal, %	5.9	5.9	
Stabilitas; Kg	1201	1400.69	>800 & >1000 Kg
Kelelahan; mm	3.3	3.63	>3 mm
Marshall Quotient; Kg/mm	360.78	376.79	>250 Kg/mm
IKS, (%)	**80.27**	**82.98**	**> 75 %**

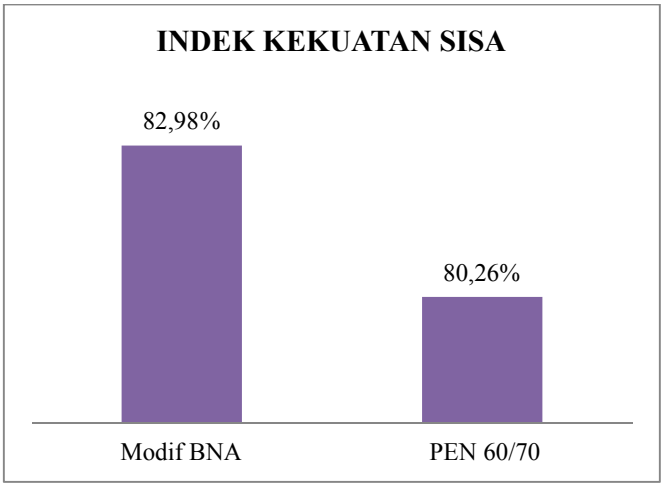
Analisis Indek Kekuatan Marshall Sisa

Pengujian perendaman Marshall, dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan atau durabilitas campuran terhadap pengaruh air dan perubahan temperatur yang ditandai dengan hilangnya ikatan antara aspal dan butiran agregat. Nilai ini dipengaruhi oleh tingkat kelekatan aspal dengan agregat antara lain bergantung pada bentuk dan jumlah pori agregat, sifat *rheologi* aspal, kadar aspal, kepadatan, kandungan rongga, dan gradasi agregat.

Nilai Indek Kekuatan Sisa (IKS) campuran didapat dari parameter hasil perbandingan nilai stabilitas benda uji hasil rendaman 1 x 24 jam dengan nilai stabilitas benda uji Marshall standar (hasil rendaman 30 menit). Perbandingan nilai stabilitas standar dengan stabilitas rendaman (*Immersion Stability*) untuk kedua campuran disajikan dalamTabel 4.6 dan tabel 4.7 dan Gambar 4.5

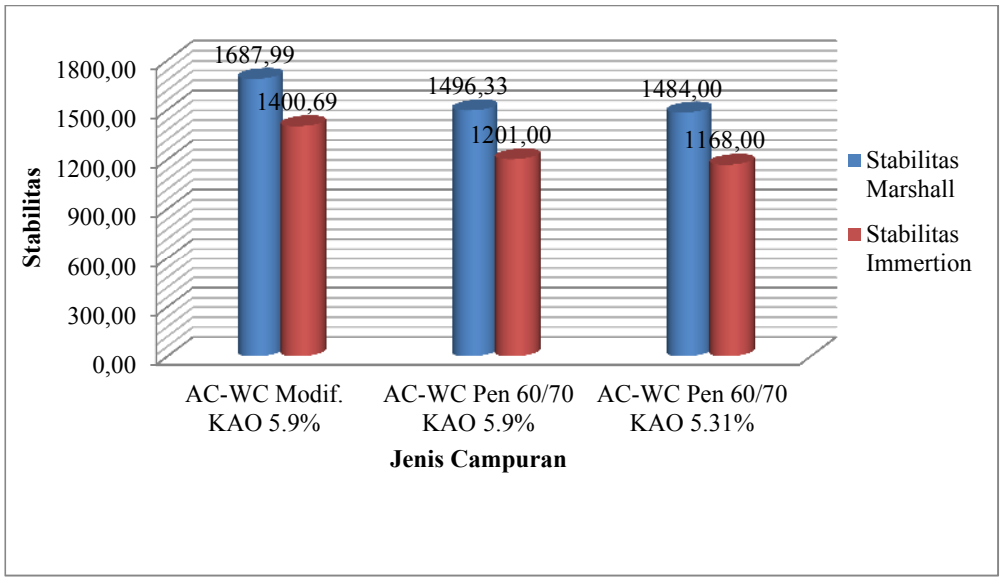
Berdasarkan uji perendaman Marshall (*Immersion*) diperoleh bahwa IKS pada campuran AC-WC Pen 60/70 sebesar (80.27%) dan campuran dengan campuran AC-WC modifikasi sebesar (82.98%). Hal ini menunjukan bahwa campuran dengan menggunakan campuran AC-WC modifikasi mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap pengaruh air dan temperatur dibandingkan dengan campuran AC-WC Pen 60/70. Kedua campuran ini memenuhi persyaratan nilai IKS minimal 75%.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 4.4 Indek Kekuatan Sisa Campuran AC-WC Modifikasi BNA dan Cam puran AC-WC Pen 60/70

Perbedaan nilai stabilitas hasil uji Marshal standar dan Marshall *immersion* terlihat dalam Gambar 4.6, ditambahkan nilai stabilitas dari (data sekunder) yang menggunakan campuran AC-WC Pen 60/70 KAO*Ref* 5.31 %.



Gambar 4.5 Nilai Stabilitas Campuran AC-WC Modifikasi dan PEN 60/70

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

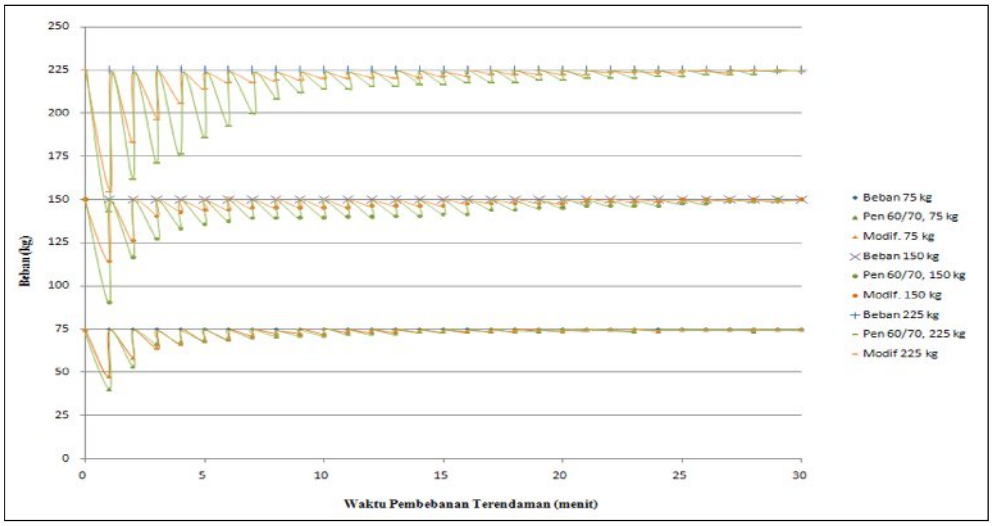
4.4 Pengaruh Air dan Beban Awal Terhadap Campuran AC-WC PEN 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi.

4.4.1 Pengujian dengan Alat Marshall Modifikasi

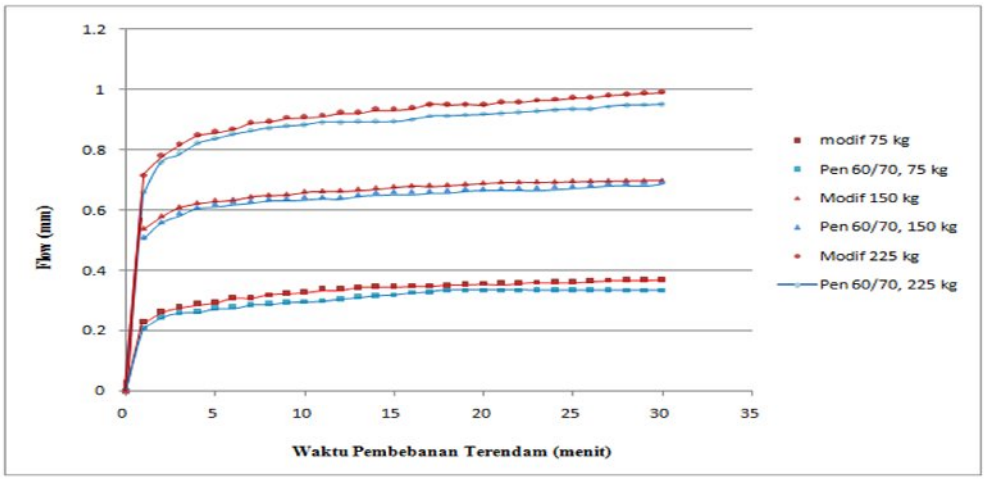
Dalam pengujian untuk mengetahui pengaruh air dan beban terhadap campuran, dibuat sebanyak 3 benda uji masing-masing campuran AC-WC PEN 60/70 dan campuran AC-WC modifikasi, untuk masing variasi berat beban dan lama waktu pembebanan. Pengujian mengunanakan peralatan uji Marshall Modifikasi dengan temperatur benda uji sesuai suhu ruang ± 26 °C, dimana benda uji diletakan dalam wadah berisi air hujan, dengan ketinggian air 5 cm diatas benda uji. Berat beban yang diberikan dalam pengujian Marshall modifikasi sebanyak 3(tiga) variasi yaitu 5 %, 10 % dan 15 % dikalikan dengan beban runtuh atau nilai stabilitas maksimum uji Marshall campuran aspal PEN 60/70 yaitu 1500 Kg (dibulatkan), sehingga tiga variasi beban tersebut adalah; 75 Kg, 150 Kg, dan 225 Kg. Semua benda uji menggunakan kadar aspal optimum yang sama yaitu 5.9 %.

Pengujian pertama dilakukan benda uji campuran Pen 60/70 dengan pembebanan 5 % kali beban runtuh (seberat 75 Kg), Nilai beban tersebut dibatasi pada dial pemebacaaan stabilitas proving ring yang yang telah dikalikan dengan kalibrasi alat. Proses pengujian tahap awal ini selama 30 menit terendam dalam air. Begitu beban awal diberikan dengan memutar engkol alat uji Marshall, dibiarkan satu menit, lalu dibaca nilai stabilitas dan kelelehan atau deformasinya setiap periode 1 menit, selama 30 menit terendam dalam air. Selanjutnya dengan tahapan yang sama, dilakukan pengujian dengan beban 10 % dari beban runtuh = 150 kg dan beban 15 % = 225 kg. Nilai-nilai stabilitas dan deformasi terlihat dalam lampiran D, Data stabilitas dan deformasi digambarkan seperti terlihat dalam Gambar 4.6 dan Gambar 4.7

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 4.6 Karakteristik Stabilitas Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Perendaman 30 menit, variasi beban 75,150, dan 225 Kg.



Gambar 4.7 Karakteristik Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Perendaman 30 menit, Variasi beban 75,150, dan 225 Kg.

Dari Gambar 4.6, garis merah beserta titik-titik merupakan hasil bacaan campuran AC-WC modifikasi dari dial stabilitas alat Marshall modifikasi setiap akhir menit selama 30 menit, sekalian dalam gambar ditampilkan tiga jenis batasan pembebanan yaitu 75 kg, 150 kg dan 225 kg. Garis beserta titik-hijau adalah pembacaan stabiltas campuran AC-WC Pen 60/70 yang terletak sejajar pada bagian bawah titik-titik merah.

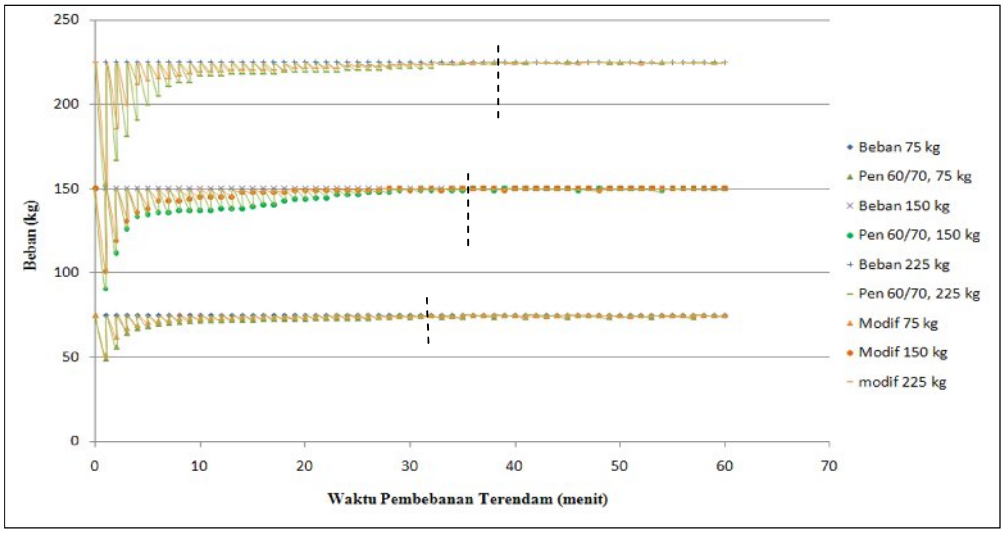
Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Pengaruh beban awal terhadap stabilitas cukup tinggi pada akhir menit pertama, menit berikutnya makin lama makin menurun. Perilaku tersebut juga terjadi untuk ketiga jenis pembebanan. Turunnya stabilitas juga dipengaruhi oleh berat beban awal yang diberikan, makin besar beban awal yang diberikan makin besar pula penurunan stabilitas yang terjadi terhadap perkerasan. Hal ini dilihatkan pada pembebanan 75 kg untuk campuran AC-WC Pen 60/70, turunnya stabilitas pengaruh pembebanan diakhir menit pertama menjadi 40.47, untuk pembebanan 150 kg penurunan stabilitas diakhir menit pertama 90.97 kg, dan untuk pembebanan 225 kg, turun stabilitasnya 142,86 kg. Bentuk penurunan stabilitas ini pengaruh pembebanan juga terjadi pada campuran AC-WC modifikasi pada akhir menit pertama untuk tiga tingkat pembebanan yang diberikan. Diamati pada akhir menit berikutnya makin lama makin kecil penurunannya. Hal ini bisa disebabkan oleh batasan pembebanan yang diberikan pada setiap awal menit.

Dengan memberikan variasi berat beban tersebut, tilihat perberdaan penurunan stabilitas yang terjadi. Untuk beban 75 kg, pada menit ke 20 sudah mulai medekati sama stabilitasnya dengan beban yang diberikan, sedangkan untuk pemberian beban 150 kg, nilai stabilitas mendekati sama dengan beban yang diberikan (150 kg) pada menit ke 25, dan untuk pembebanan 225 kg, terlihat stabilitas mendekati sama pada menit ke 30. Berarti pada akhir menit ke 30 campuran mulai memadat, sehingga stabilitasanya mulai bertahan sesuai batasan beban yang diberikan tersebut. Maka dengan demikian variasi pembebanan dalam keadaan terendam dalam air dapat mempengaruhi kinerja perkerasan.

Selanjutnya deformasi akibat pembebanan awal yang terlihat pada Gambar 4.7, kejadiannya menunjukan begitu diberikan beban awal niliai deformasinya pada akhir menit masih rendah, pada menit berikutnya naik secara perlahan perputaran jarumnya, makin lama kenaikan deformasinya makin sedikit. Kenaikan deformasi pada menit ke 25 untuk pembebanan 75 kg, sudah kelihatan sedikit, karena beban tetap bertahan sampai akhir menit ke 30, berarti sifat elastisitas dalam campuran, mampu menahan beban tetap yang masih menekan benda uji. Lain halnya dengan pembebanan 150kg masih kelihatan kemaikan nilai deformasi cukup tinggi dibanding pembebanan 75 Kg. seperti terlihat pada Gambar 4.9

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

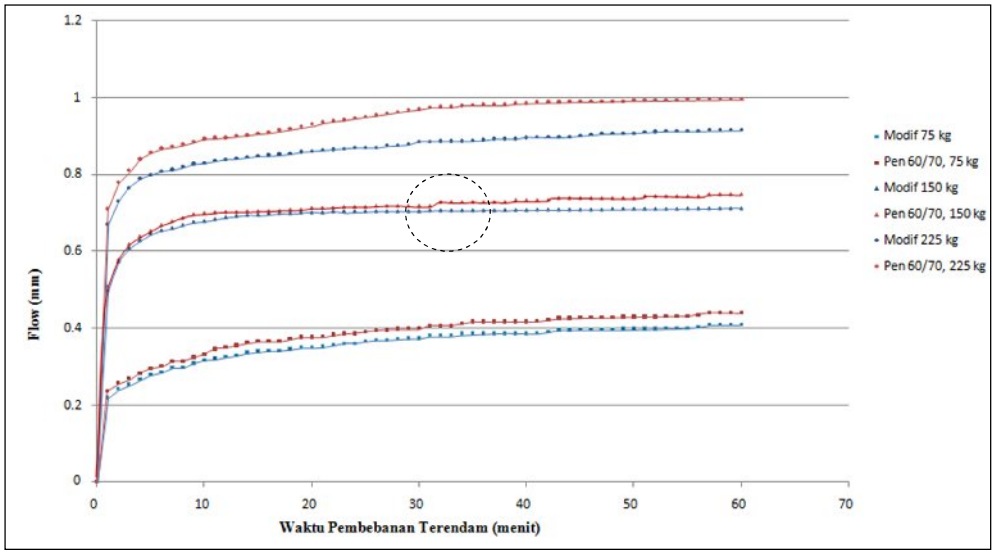


Gambar 4.8 Karakteristik Stabilitas Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi,Perendaman 60 menit,variasi Beban 75,150, dan 225 Kg.

Hasil pengujian pada periode waktu 60 menit, dengan variasi beban yang sama dengan waktu pembebanan dalam air selama 30 menit, telihat perbedaan stabilitas pengaruh beban berulang dengan batasan yang ditetapkan. Pada menit 28 pembeban berulang seberat 75 kg, stabilitasnya sudah mulai diam, dengan arti kata tidak terjadi lagi penurunan stabilitas secara menerus setiap menitnya. Adanya penurunan sangat kecil sekali pada rentang waktu yang cukup lama.

Untuk pembebanan 150 kg, berhenti penurunan stabilitas terjadi pada puncak batas pembebana pada menit ke 34, selanjutnya tidak ada lagi terjadi penurunan stabilitas. Sedangkan pengaruh pembebanan 225 kg, penurunan stabilitas terjadi pada menit ke 38 mulai bertahan, selanjutnya penurunan tejadi pada rentang waktu cukup lama yaitu menit 41, menit 46, dan menit 54, selanjutnya tidak ada lagi penurunan stabilitas sampai menit ke 60. Berarti untuk pembeban 225 kg, masih ada kemungkinan terjadinya penurunan stabilitas akibat pengaruh beban serta dapat terbentuknya rongga pada benda uji, dan dapat mengakibatkan air akan masuk kedalam campuran benda uji.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 4.9 Karakteristik Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Perendaman 60 menit, Variasi Beban 75,150, dan 225 kg.

Angka-angka deformasi yang didapat dari hasil pengujian ditunjukkan dalam Gambar 4.9 pada periode pembebanan selama 60 menit, terlihat bahwa nilai deformasi sangat dipengaruhi oleh besarnya beban awal yang diberikan. Selanjutnya kenaikan deformasi masih terlihat konstan pada akhir menit ke 60 Demikian juga pada menit-menit awal deformasi terlihat tinggi, makin lama makin mengecil kenaikannya. Bentuk kenaikan deformasi terlihat tidak konstan, adakalanya kecil kenaikannya, tiba-tiba agak cepat perputaran jarum bacaan deformasi, sehingga deformasi lebih tinggi kenaikannya dari menit sebelumnya, seperti kejadian pada menit ke 32 pembebanan 150 kg (gambar yang dilingkari). Fenomena seperti itu bisa saja disebabkan adanya perobahan perilaku agregat yang tidak seragam akibat adanya tekanan dari repetisi beban yang diberikan.

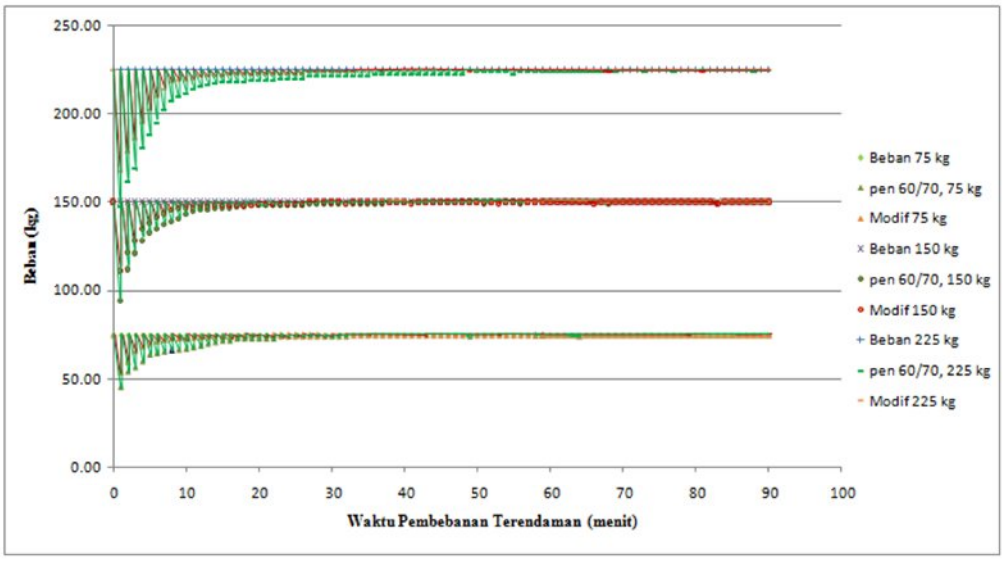
Selanjutnya stabilitas dari hasil pengujian pembebanan berulang dalam kondisi terndam selama 90 menit terlihat dalam Gambar 4.10 halaman berikut, terlihat karakteristik kinerja campuran pengaruh repetisi beban dan lamanya waktu rendaman tidak jauh berbeda dengan waktu rendam 60 menit. Garis nilai stabilitas diatas menit ke 60-an sudah mulai tetap pada garis batas pembebanan, terutama benda uji yang dibebani 75 kg, terakhir penurunan stabilitasnya pada

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

menit 64 untuk campuran AC-WC Pen 60/70 seberat 1,19 kg, dan campuran AC-WC modifikasi terjadi penurunan terakhir pada menit ke 63 seberat 0,48 kg.

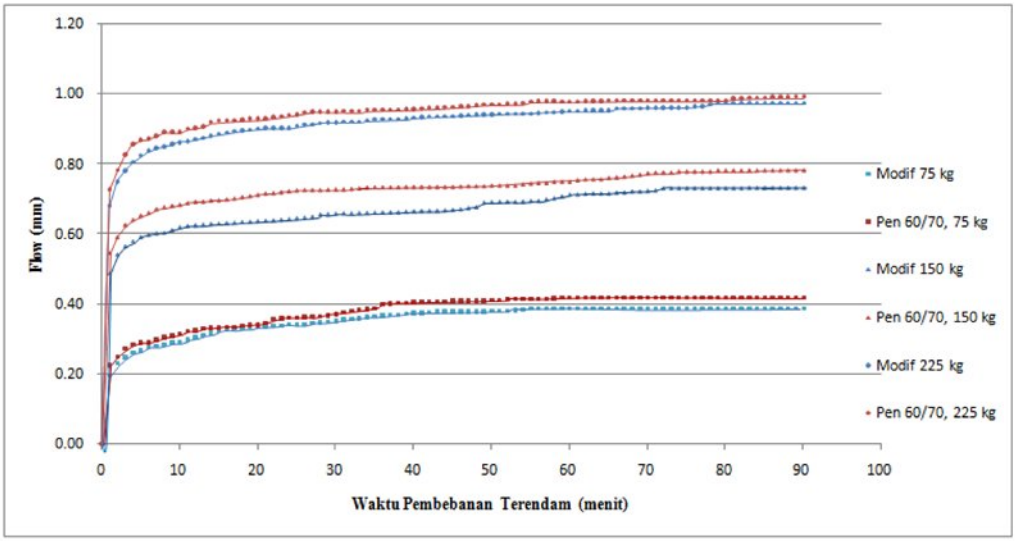
Ditinjau dari pengaruh pembebanan 150 kg, penurunan terakhir terjadi pada menit ke 68 untuk campuran AC-WC Pen 60/70 dan pada menit 66 campuran AC-WC modifikasi, selanjutnya sampai akhir menit ke 90 nilai penurunan sudah tidak terlihat lagi. Dari kedua jenis pembebanan terendah yang diberikan yaitu 75 kg dan 150 kg sesuai penjelasan alinia diatas sudah tidak ada lagi kegiatan pengulangan beban sesuai batas pembebanan sampai akhir menit ke 90, berarti beban statis yang bekerja terhadap benda uji tersebut sampai menit ke 90. Kejadian tersebut bisa dikatakan bahwa benda uji masih stabil dan mampu menerima beban yang diberikan tanpa terjadi penurunan stabilitas.

Untuk repetisi pembebanan 15 % dari beban runtuh (225 kg), sampai akhir menit ke 90, masih terjadi penurunan stabilitas terhadap kedua jenis campuran. Kejadian penurunan lebih sering ditemui pada campuran AC-WC Pen 60/70 dibanding dengan campuran AC-WC modifikasi. Hal tersebut bisa dakatakan bahwa viskositas elastis campuran AC-WC Pen 60/70 lebih tinggi dibanding campuran AC-WC modifikasi. Secara keseluruhan rata stabilitas campuran AC-WC modifikasi lebih tinggi dibanding campuran AC-WC Pen 60/70.



Gambar 4.10 Karakteristik Stabilitas Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi,Perendaman 90 menit, Variasi Beban 75,150, dan 225 Kg.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 4.11 Karakteristik Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Perendaman 90 menit, Variasi Beban 75,150, dan 225 kg.

Pengamatan dan pembacaan nilai deformasi untuk periode perendaman 90 menit, terlihat dalam Gambar 4.9. Pengaruh beban awal terhadap benda uji sangat menentukan penurunan selanjutnya, sungguhpun pada periode waktu tertentu terdapat kenaikan deformasi secara tiba-tiba lebih besar dari menit sebelumnya. Fenomena ini terjadi juga pada pengujian periode 30 menit dan 60 menit, seperti Gambar 4.7 dan Gambar 4.9.

Jika diperhatikan pembebanan 75 kg, pada menit ke 60-an terlihat tidak terjadi lagi kenaikan deformasi, jarum pada dial *flow* sudah tidak bergerak lagi. Kejadian tersebut dapat dinyatakan bahwa campuran mampu menahan beban, tanpa terjadi lagi perobahan bentuk. Kelelahan campuran baik berupa retak, penurunan rongga dalam campuran maupun rongga dalam agregat (VIM, VMA) sudah tidak ada lagi. Demikian juga halnya dengan kelekatan aspal dalam campuran masih berfungsi untuk menahan beban tersebut, sehingga tidak terjadi pengkatan deformasi.

Karakter benda uji yang dibebani 150 kg dan 225 kg, masih terus mengalami penurunan deformasi dibanding dibebani 75 kg sampai batas waktu 90 menit. Selain pengaruh beban dapat juga diakibatkan oleh pengaruh air. Air dapat

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

masuk kedalam rongga pada bagian sisi benda uji yang tidak mendapatkan tekanan langsung dari bidang tekan alat uji Marshall, dengan demikan akan terbentuk porositas atau rongga dalam campuran, sehingga air yang masuk dapat melemahkan ikatan aspal dalam campuran.

Setelah dilakukan pengujian berulang dengan alat Marshall Modifikasi, benda uji tersebut dilakukan lagi pengujian uji Marshall standar, untuk mengetahui nilai Stabilitas dan kelelehannya. Hasil pengujian dari tiga benda uji setiap variasi pembebanan dan waktu perendaman tersebut, angka stabilitas dan kelelehan nilai rata-rata yang diambil dijadikan untuk pembahasan berikutnya. Pada saat pengujian terdapat beberapa benda uji yang terlalu menjolok perbedaan nilai stabilitas dan flow diantara 3 benda uji tersebut, datanya tidak tidak diperhitungkan dalam analisa selanjutnya. Hasil pengujian pembebanan berulang terlihat dalam Lampiran D,

Pengujian stabilitas dan kelehan benda uji yang telah dilakukan uji perendaman 0.5 jam, 1 jam, 1.5 jam serta pembebanan (75 Kg, 150 Kg, 225 Kg), yang dilanjutkan dengan uji Marshall standar, hasilnya dilihat dalam Tabel 4.8. Penyajian data diawali dengan nilai stabilitas dan kelelehan uji Marshall standar, berikutnya ditampilkan hasil pengujian yang dikelompokan berdasarkan berat beban serta lama pembebanan dalam air. Karakteristik pengaruh pembebanan baik stabilitas maupun flow terlihat pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.6

4.4.2 Hasil Pengujian Marshall Standar Terhadap Benda Uji Marshall Modifikasi

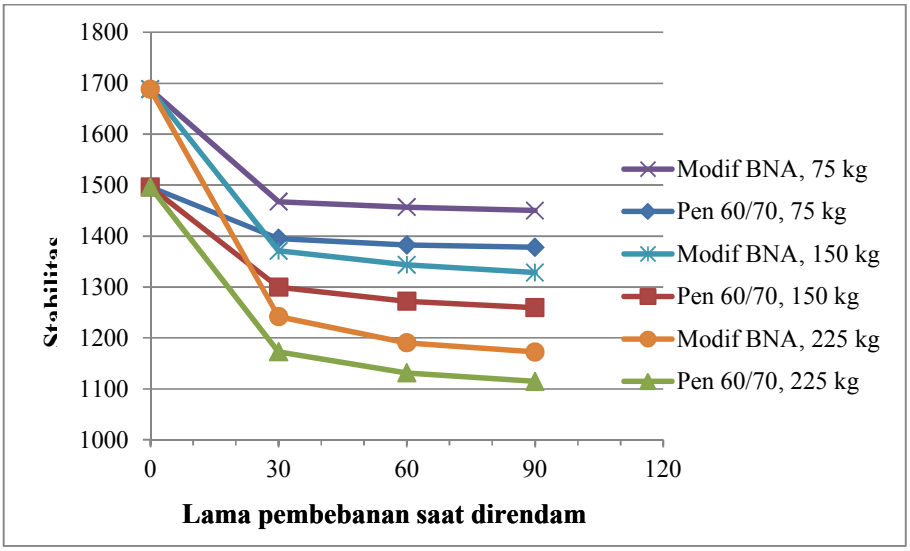
Diamati dari Gambar 4.12, campuran AC-WC PEN 60/70 nilai stabilitasnya 1496.33 Kg. dan AC-WC Modifikasi 1687.99 Kg (hasil uji Marshall standar), terlihat perbedaanya pada titik nol waktu pembebanan (benda uji yang tidak dilakukan pengujian Marshall modifikasi. Selanjutnya dihubungkan dengan nilai stabilitas benda uji yang dipengaruhi oleh pembebanan dalam air dengan uji Marshall Modifikasi, dari tiga variasi waktu dan tiga variasi berat pembebaban terdapat perbedaan yang cukup suknifikan, terutama pada pembebanan awal sampai 30 menit. Jika dianalisa setiap garis grafik mulai dari bagian atas pada Gambar 4.12, yaitu nilai stabilitas campuran AC-WC Modifikasi yang dibebani

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

75 Kg, tanpa pengaruh air dan pembebanan sebelumnya 1687.99 setelah dibebani 30 menit turun menjadi 1467.14, pembebanan selam 60 menit turun menjadi 1456.75 dan lama pembebanan 90 menit turun menjadi 1449.97 kg.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Marshall Standart Terhadap Benda Uji yang Telah Mengalami Pengujian Marshall Modifikasi

No	Pemberian Beban	Lama Pembebanan Saat direndam	Jenis Campuran AC-WC			
			Pen 60/70		Modifikasi BNA	
			Stabilitas	Flow	Stabilitas	Flow
	(kg)	(menit)	(kg)	(mm)	(kg)	(mm)
		0	**1496.33**	**4.33**	**1687.99**	**3.87**
1	75	30	1395.34	3.42	1467.14	3.38
2	75	60	1382.44	3.52	1456.75	3.46
3	75	90	1377.86	3.55	1449.97	3.50
		0	**1496.33**	**4.33**	**1687.99**	**3.87**
4	150	30	1299.51	3.69	1370.70	3.695
5	150	60	1271.83	3.716	1343.61	3.70
6	150	90	1259.54	3.725	1328.31	3.71
		0	**1496.33**	**4.33**	**1687.99**	3.87
7	225	30	1172.72	3.88	1241.68	3.83
8	225	60	1131.29	4.08	1190.39	4.067
9	225	90	1114.39	4.17	1172.49	4.12
	Stabilitas Marhall Stadar		**1496.33**	**4.33**	**1687.99**	**3.87**



Gambar 4.12 Karakteristik Stabilitas Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Analisa Pengujian Marshall Standar Terhadap Benda Uji Marshall Modifikasi

Pengaruh beban awal sampai menit ke 30 cukup besar, namun dari menit 30 ke 60 dan seterusnya sampai menit ke 90 semakin mengecil. Hal ini bisa saja pengaruh oleh beban berulang, dimana pembebanan yang diberikan dibatasi seberat 75 Kg. Selanjutnya untuk pembebanan awal 150 Kg dalam rendaman sampai menit 30 penurunan stabilitas jauh lebih tinggi dabanding pengaruh beban 75 Kg. Begitu juga seterusnya untuk pembebanan 225 Kg, lebih besar lagi penurunan stabilitas pengaruh beban awal.

Pada pembebanan yang lebih besar, penurunan stabilitas juga lebih besar, hal ini bisa diakibatkan sudah terjadinya kelelehan plastis, sehingga menimbulkan rongga terhadap campuran pada sisi yang tidak terkena beban langsung dari alat iji Marshall, dan rongga tersebut sudah dimasuki air, sehingga ketahanan terhadap beban jadi berkurang. Dari kondisi beban yang ringan belum kelihatan pengaruh berarti terhadap rendaman dalam air, hal ini bisa terjadi karena rongga dalam campuran masih dalam kondisi optimum, sehingga masih ada ruang gerak didalam campuran untuk lebih padat lagi.

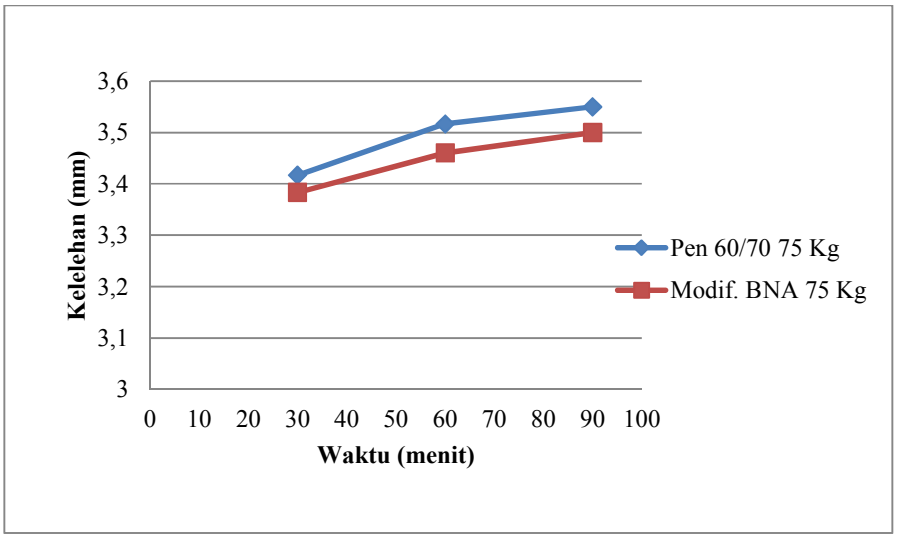
Secara umum diamati nilai pengujian stabilitas campuran AC-WC modifikasi lebih tajam turunnya dibanding campuran Pen 60/70 setelah dipengaruhi pembebanan dalam rendaman, namun setiap periode waktu pembebanan dalam rendaman nilai stabilitas campuran AC-WC modifikasi selalu grafiknya berada diatas, artinya nilai stabilitas campuran AC-WC modifikasi lebih tinggi dibanding stabilitas campuran AC-WC Pen 60/70.

Analisa selanjutnya tentang nilai kelelehan (*flow*) kedua campuan, seperti nilai dalam Tabel 4.8 diperlihatkan dalam Gambar 4.7, perbedaan masing-masing nilai kelehan yang dipengaruhi oleh variasi pembebanan serta lamanya dibebani dalam air. Nilai kelehan uji Marshall Standar 4.33 mm untuk campuran AC-WC Pen 60/70, dan untuk campuran AC-WC modifikasi 3.87mm. Dimana benda uji tersebut sama-sama mendapat perlakuan pengujian Marshall modifikasi dengan diberi beban 75 kg, selama periode waktu 30 menit, nilai kelelehan jadi turun berkisar 3.4 mm, selanjutnya pada waktu pembebanan 60 menit, dan 90 menit

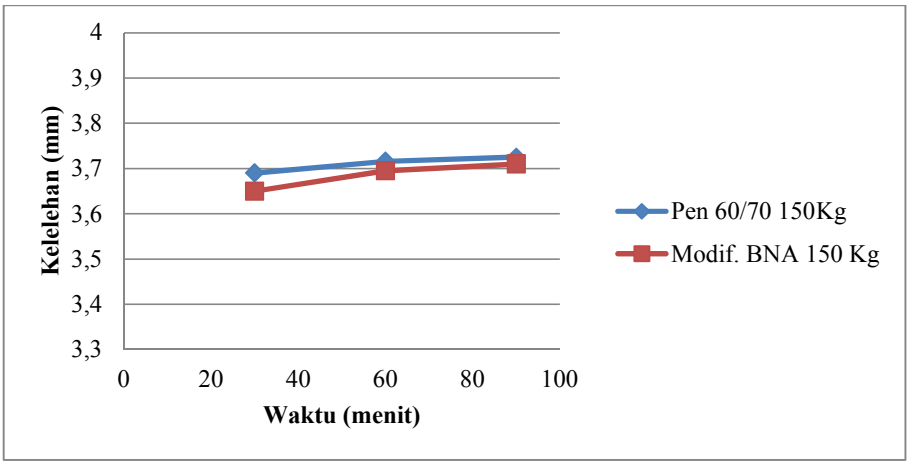
Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

terlihat nilai kelelehan naik. seperti terlihat dalam gambar 4.7. Pada garis grafik pada bagian bawah adalah jenis campuran AC-WC modifikasi, dan garis grafik bagian atas adalah campuran Pen 60/70.

Secara umum nilai kelelehan campuran AC-WC modifikasi lebih rendah dibanding campuran AC-WC Pen 60/70, sebaliknya nilai stabiltas campuran AC-WC modifikasi lebih tinggi dibanding campuran AC-WC Pen 60/70. Hal ini membuktikan, bahwa nilai viskositas campuran AC-WC modifikasi lebih tinggi dari campuran AC-WC Pen 60/70.



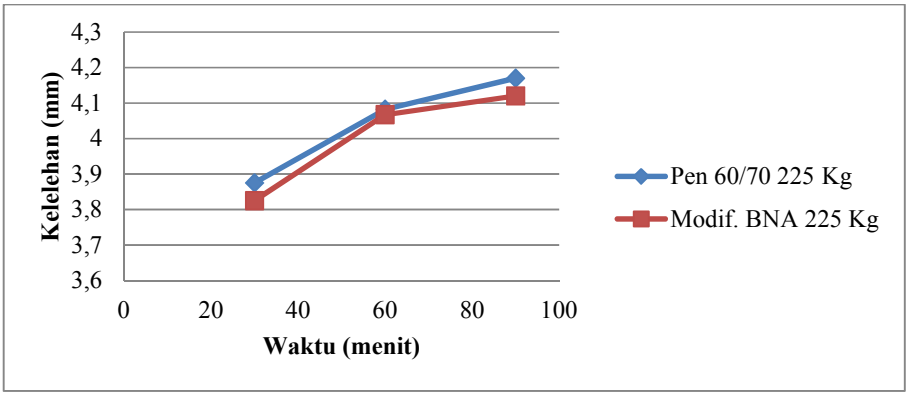
Gambar 4.13 Kelelehan Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Pengaruh Beban Uji Marshall Modifikasi



Gambar 4.14 Kelelehan Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Pengaruh Beban Uji Marshall Modifikasi

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

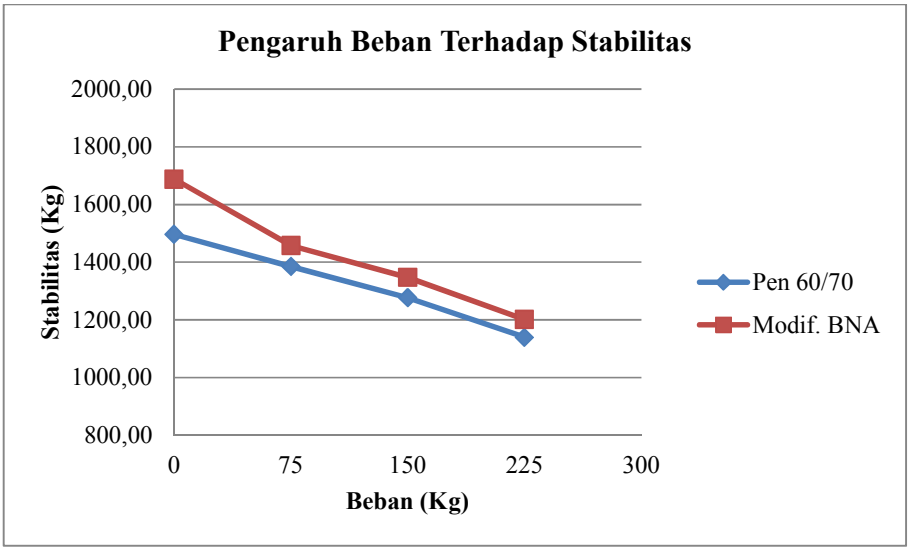
Pada Gambar 4.14, kedua jenis campuran yang telah mengalami uji Marshall modifikasi dengan beban 150 kg, semakin tinggi nilai kelelehannya dibanding pembebanan 75 kg seperti terlihat pada Gambar 4.13. Dari beban dan periode waktu rendam mulai dari 30 menit sampai 90 menit, tetap mengalami kenaikan kelelehan, namun tidak setajam kenaikan kelehan pada pembebanan 75 kg. Nilai kelelehan kedua jenis campuran tidak begitu jauh berbeda. Karakteristik kelelehan hasil pengujian juga dipengaruhi oleh pembebanan. Semakin besar pembebanan dan semakin lama waktu pembebanan dalam air, semakin besar pula nilai kelehan dari kedua jenis campuran tersebut. Demikian juga halnya yang terjadi pada Gambar 4.15, yaitu pengujian Marshall standar yang dilakukan terhadap benda uji yang telah mengalami uji Marshall modifikasi dengan batasan beban yang diberikan adalah 225 kg. Nilai rata-rata kelelehan pada benda uji campuran Pen 60/70 setelah uji Marshall modifikasi selama 30 menit = 3.88 mm, benda uji campuran modifikasi = 3,83 mm, selisihnya 0.05 mm, untuk benda uji perendaman 60 menit selisihnya 0.013 mm. Selisih nilai kelelehan atau deformasi tersebut relativ kecil, tetapi jika diamati antara kedua jenis campuran, deformasi yang terjadi terhadap campuran aspal modifikasi lebih kecil dibanding campuran Pen 60/70. Hal ini menandakan tingkat viskositas campuran aspal modifikasi lebih tinggi, terbukti sesuai denagn sifat-sifat kedua jenis aspal. Karakteristik material yang nilai viskositasnya tinggi, gesekan internal molekuler dalam campuran cukup besar sehingga proses untuk berobah bentuk, mengembang atau berdeformasi akibat pembebanan juga lebih kecil, (Britannica.Com)



Gambar 4.15 Kelelehan Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi, Pengaruh Beban Uji Marshall Modifikasi

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Selanjutnya pembahasan pengaruh beban terhadap stabilitas seperti terlihat pada Gambar 4.16. Campuran modifikasi BNA, mempunyai stabilitas yang lebih tinggi dibanding campuran Pen 60/70. Selisih tinggi stabilitas pada kondisi tidak dipengaruhi pembebanan awal adalah 12.81 %, selanjutnya begitu dibebani 75 kg, 150 kg, 225 kg, selisih tinggi stabilitas campuran AC-WC modifikasi 5.25 %, 5.53 %, 5.45 % dibanding campuran AC-WC Pen 60/70.



Gambar 4.16 Pengaruh Beban Terhadap Stabilitas

Dari kredua jenis campuran, peran kohesi dan adesi terlihat sebagai integritas keseluruhan dari material saat mengalami pembeban. Hal ini ditentukan terutama oleh daya tarik dalam pengikatan aspal dan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti viskositas dari film aspal. Air dapat mengubah reologi aspal dan mengurangi kohesi dan adesi melalui emulsifikasi secara spontan, emulsi rembesan air berpengaruh dalam film aspal. Hal ini telah diamati oleh beberapa peneliti. Fromm (1974) agregat diatas kaca dilapisi dengan film aspal, lalu direndam dalam air dan terlihat pembentukan bahan kecoklatan pada permukaan aspal, pengaruh emulsi air dalam aspal, dan terdapat ikatan perekat antara aspal dan agregat menjadi rusak.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

4.4.3 Pengujian dengan Alat UMATA

Selain pengujian pengaruh air dan beban awal terhadap kedua jenis campuran AC-WC dengan alat Marshall modifikasi, juga dilakukan pengujian dengan alat UMATA, dimana benda uji sebelumnya dibebani dengan alat Marshall modifikasi masing-masing 1 benda uji setiap variasi beban awal dan periode waktu yang telah ditentukan sebelumnya seperti metoda sub-bab 4.4.1.

Pembebanan (*peak loading force*) yang diberikan pada pengujian dengan alat Umata, disamakan dengan berat beban saat pengujian kondisi terendam dengan alat Marshall modifikasi, namun satuan dengan alat Umata adalah dalam Newton (N). Data hasil pengujian dengan alat Umata terlihat pada Lampiran E, yaitu sejumlah 18 lembar; 9 lembar untuk campuran AC-WC PEN 60/70 dan 9 lembar untuk campuran AC-WC Modifikasi.

Selain 18 benda uji, dilakukan juga pengujian dengan alat Umata sebanyak 6 benda uji, masing- masing 3 benda uji untuk campuran AC-WC PEN 60/70 dan 3 benda uji campuran AC-WC Modifikasi, dengan *peak loading force* standar (3000 N) tanpa direndam sebelumnya.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Campuran AC-WC PEN 60/70 dengan UMATA.

No.	Realisasi Pembebanan Alat Umata (N)		Lama pembebanan saat Direndam (jam)	**Campuran AC-WC PEN 60/70**			
				No. B.uji	Tot. Recov Strain (μ□)	Tensile Stress (kPa)	**Modulus Resilient (Mpa)**
1	5%	751.94	0.5	20	30.74	74.90	2565.00
2	5%	785.93	1	16	33.11	78.41	2492.00
3	5%	752.52	1.5	35	34.93	76.50	2306.00
4	10%	1497.40	0.5	21	52.08	147.25	2977.90
5	10%	1490.40	1	23	54.97	144.34	2875.08
6	10%	1495.60	1.5	13	56.41	146.41	2791.04
7	15%	2237.00	0.5	22	70.79	224.00	3322.00
8	15%	2242.30	1	19	75.16	227.70	3190.00
9	15%	2239.40	1.5	26	76.37	227.70	3147.00
10		2911.6	Benda uji Asli (tanpa direndam) pada KAO 5.9%	34	76.77	295.60	4060.00
11		2904.6		36	76.63	290.70	3996.00
12		2898.1		6	75.94	289.20	4008.00
Rata-rata		**2904.77**			**76.97**	**295.60**	**4021.33**

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Masing-masing hasil pengujian Umata dengan beban standar, nilainya dijadikan sebagai pembanding untuk analisa selanjutnya. Pengujian mengacu kepada SNI 03-6836-2002 dan sebagai rujukannya adalah AS 2891.13.1; AS 1545 dan AS 2193. Hasil pengujian dirangkum dalam Tabel 4.9 dan Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Campuran AC-WC Modifikasi dengan Umata

No.	Realisasi Pembebanan Alat Umata (N)		Lama pembebanan saat Direndam (jam)	**Campuran AC-WC PEN 60/70 + BNA 25 %**			
				No. B.uji	Tot. Recov Strain (μ□)	Tensile Stress (kPa)	**Modulus Resilient (Mpa)**
1	5%	734.94	0.5	10/B	27.68	75.54	2778.00
2	5%	757.21	1	16/B	30.92	76.24	2595.00
3	5%	761.31	1.5	8/B	31.27	77.14	2458.00
4	10%	1490.90	0.5	19/B	49.14	148.90	3190.00
5	10%	1495.60	1	4/B	53.21	153.20	3035.00
6	10%	1497.40	1.5	34/B	52.94	150.10	2986.00
7	15%	2238.20	0.5	13/B	67.03	225.10	3536.00
8	15%	2236.40	1	17/B	68.82	226.60	3468.00
9	15%	2235.80	1.5	20/B	71.20	223.80	3310.00
10		2923.30	Benda uji Asli (tanpa direndam) pada KAO 5.9%	21/B	56.57	287.90	5364.00
11		2908.70		15/B	57.97	288.10	5239.00
12		2919.80		20/B	56.40	292.10	5462.00
Rata-rata		**2917.27**			**56.98**	**289.37**	**5355.00**

Analisis Hasil Pengujian dengan Alat Umata Pengaruh Baban

Ketika memasukan data *peak loading force* waktu pengujian disamakan dengan persentase variasi beban rencana, yaitu 750 N, 1500 N dan 2250 N. Setelah program di *run*, realisasi pembebanan terdapat perbedaan nilai *peak loading force* dengan beban rencana seperti dalam Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Untuk mendapatkan nilai *Total Recovery Strain (μ□), Tensile Stress (kPa) dan Modulus Resilient (Mpa)* sesuai dengan beban yang direncanakan, dilakukan analisis beban rencana dengan persamaan X = a / b * c.

dimana : X = hasil yang diharapkan sesuai dengan beban rencana

a = beban rencana (N)

b = beban realisasi hasil pengujian alat Umata.

c = nilai realisasi hasil pengujian alat Umata.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Dengan menerapkan persamaan diatas, maka didapat nilai-nilai *Total Recovery Strain (μ□), Tensile Stress (kPa) dan Modulus Resilient (Mpa)* seperti terlihat dalam Tabel 4.11 untuk campuran AC-WC Pen 60/70 dan Tabel 4.12 untuk Campuran AC-WC Modifikasi. Proses pengolahan data dengan persamaan diatas dilakukan untuk semua beban rencana (750 N, 1500 N, 2250 N) demikian juga dengan beban standar pengujian dengan alat Umata yaitu 3000 N. Tujuan pengolahan tersebut agar semua nilai-nilai yang dihasilkan alat Umata dapat dikonversikan kenilai standar untuk analisis selanjutnya, terutama pengaruh beban maupun lama waktu perendaman terhadap karakteristik kinerja kedua jenis campuran AC-WC.

Diamati dari data hasil pengujian dengan alat Umata, nilai-nilai dalam Tabel 4.11 dan Tabel 4.12, terlihat bahwa semakin besar *peak loading force* yang diberikan, makin besar pula nilai *Total Recovery Strain (μ□), Tensile Stress (kPa) dan Resilient Modulus (Mpa)* yang dihasilkannya. Hal ini dapat ditinjau dari tiga variasi beban yang diberikan yaitu 750 N, 1500 N, dan 2250 N. Hal ini sejalan dengan pernyataan Kemal Nesnas, bahwa modulus resilien (kekakuan) bertambah sebanding dengan pertambahan laju pembebanan.

Tabel 4.11 Analisis Data Uji Umata Sesuai Beban Rencana Campuran AC-WC PEN 60/70 Pengaruh Beban dan waktu Perendaman

No.	Pembebanan Alat Umata (N)		Lama pembebanan saat Direndam (jam)	**Campuran AC-WC PEN 60/70**			
				No. B.uji	Tot. Recov Strain (μ□)	Tensile Stress (kPa)	**Modulus Resilient (Mpa)**
1	5%	750	0.5	20	30.66	74.71	2558.38
2	5%	750	1	16	31.60	74.83	2378.07
3	5%	750	1.5	35	34.81	76.24	2298.28
4	10%	1500.00	0.5	21	52.08	147.25	2977.90
5	10%	1500.00	1	23	54.97	144.34	2875.08
6	10%	1500.00	1.5	13	56.41	146.41	2791.04
7	15%	2250.00	0.5	22	70.79	224.00	3322.00
8	15%	2250.00	1	19	75.16	227.70	3190.00
9	15%	2250.00	1.5	26	76.37	227.70	3147.00
10		3000.00	Benda uji Asli (tanpa direndam) pada KAO 5.9%	34	79.10	304.57	4183.27
11		3000.00		36	79.15	300.25	4127.25
12		3000.00		6	78.61	299.37	4148.93
Rata-rata		**3000.00**			**78.95**	**301.40**	**4153.15**

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Lamanya waktu pembebanan pada saat direndam, memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap nilai-nilai yang dihasilkan dengan alat Umata, seperti yang terlihat dalam Tabel 4.11 campuran AC-WC Pen 60/70. Dengan memberikan beban yang sama 700 N dengan lama waktu pembebanan dalam kondisi terendam, yaitu 0.5 jam, 1 jam dan 1.5 jam terlihat jelas perbedaan hasilnya. Demikian juga untuk pembebanan 1500 N dan 2250 N dengan periode waktu 0.5 jam, 1 jam dan 1.5 jam untuk campuran Pen 60/70.

Ditinjau dari besar peralihan beban yang diberikan dari 750 N ke beban 1500 N dan 2250 N, terlihat perbedaan yang sangat signivikan dari nilai modulus *resilient, tensile stress* maupun *total recovery strain* akibat pengaruh besar beban yang diberikan, selain itu juga terlihat perbedaan nilai-nilai akibat pengaruh dari lama waktu perendaman terhadap kedua jenis campuran.

Tabel 4.12 Analisis Data Uji Umata Sesuai Beban Rencana Campuran AC-WC Modifikasi Pengaruh Beban

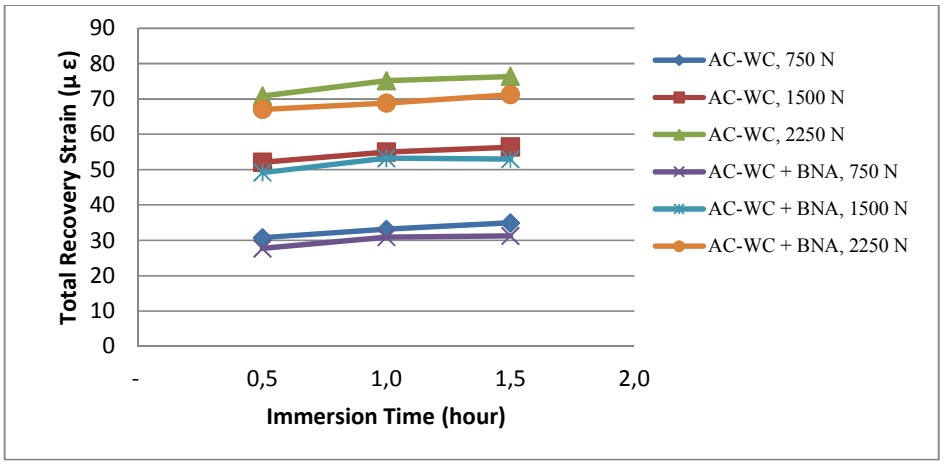
No.	Pembebanan Alat Umata (N)		Lama pembebanan saat Direndam (jam)	**Campuran AC-WC PEN 60/70 (25%) + BNA 25 %**			
				No. B.uji	Tot. Recov Strain (μ□)	Tensile Stress (kPa)	**Modulus Resilient (Mpa)**
1	5%	750	0.5	10/B	28.25	77.09	2834.93
2	5%	750	1	16/B	30.63	75.51	2570.29
3	5%	750	1.5	8/B	30.81	75.99	2421.48
4	10%	1500.00	0.5	19/B	49.44	148.90	3209.47
5	10%	1500.00	1	4/B	53.37	153.20	3043.93
6	10%	1500.00	1.5	34/B	53.03	150.10	2991.18
7	15%	2250.00	0.5	13/B	67.38	225.10	3554.64
8	15%	2250.00	1	17/B	69.24	226.60	3489.09
9	15%	2250.00	1.5	20/B	71.65	223.80	3331.02
10		3000.00	Benda uji Asli (tanpa direndam) pada KAO 5.9%	21/B	58.05	287.90	5504.74
11		3000.00		15/B	59.79	288.10	5403.44
12		3000.00		20/B	57.95	292.10	5612.03
Rata-rata		**3000.00**			**58.60**	**289.37**	**5506.74**

Pengaruh perubahan modulus resilien akibat perendaman, dibandingkan dengan sampel yang tidak direndam pada temperatur yang sama (± 26 °C) perbedaan nilainya cukup signifikan, untuk campuran AC-WC Pen 60/70 yang

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

tidak direndam nilai modulus resilien-nya 4153.15 Mpa. Setelah dibebani dalam kondisi terendam selama 30 menit nilai *Mr* turun menjadi 3305.67 Mpa. Demikian juga halnya dengan campuran AC-WC modifikasi yang tidak terendam hasil pengujian nilai *Mr* didapat 5506.74 Mpa, sedangkan sampel yang telah dibebani dan dalam keadaan terendan selama 30 menit, nilai *Mr* turun menjadi 3542.88 Mpa, demikian selanjutnya sampai periode perendaman 90 menit.

Selanjutnya nilai yang didapat dari hasil pengujian Umata, baik total regangan mampu pulih (*total recovery strain*), tegangan tarik (*tensile tress*) dan modulus resilien kedua jenis campuran AC-WC, terlihat dalam Gambar 4.17 sampai dengan Gambar 4.19.



Gambar 4.17 Perubahan Regangan Terhadap Beban dan Waktu Perendaman

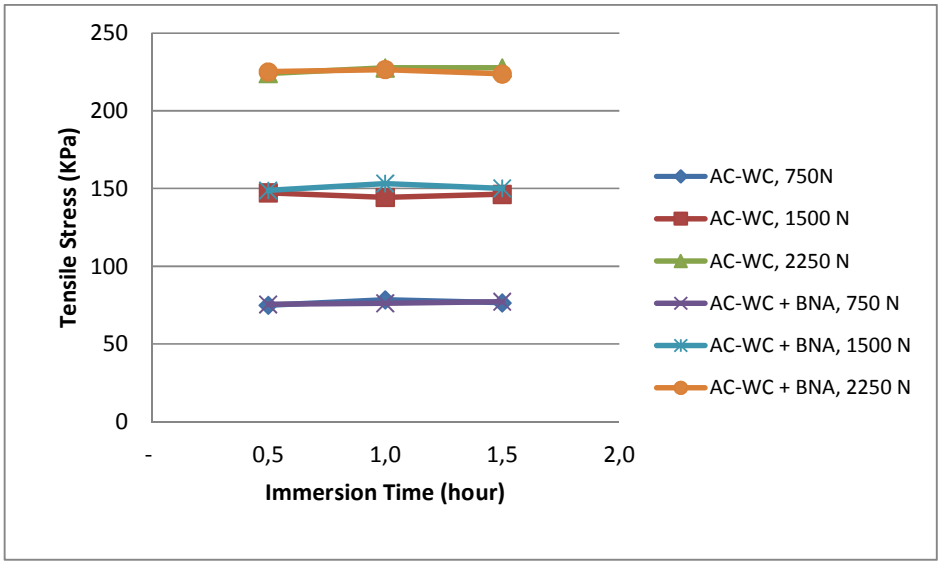
Perubahan regangan pengaruh beban dalam Gambar 4.17, mulai dari beban 750 N hasil uji Marshall modifikasi selama 0.5 jam, terlihat nilai regangan campuran AC-WC modifikasi 28.25 μ□, campuran AC-WC Pen 60/70 = 30.66 μ□. Begitu benda uji hasil pembebanan 150 N hasil uji Marshall modifikasi selama 0.5 jam, terlihat perubahan yang sangat signifikan dari 28.25 μ□ naik menjadi 49.44 μ□ (campuran AC-WC modifikasi), sedangkan campuran AC-WC Pen 60/70 dari 30.66 μ□ naik menjadi 52.08 μ□, begitu juga perubahan yang terjadi terhadap pengaruh beban 2250 N, nilai regangan yang terjadi naik lebih tinggi lagi seperti terlihat dalam Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 serta Gambar 4.17.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Perubahan regangan pengaruh waktu pembebanan dalam kondisi terendam mulai dari 0.5 jam, 1 jam dan 1.5 jam dengan diberikan beban yang sama, tidak begitu besar kenaikannya dibanding pengaruh beban.

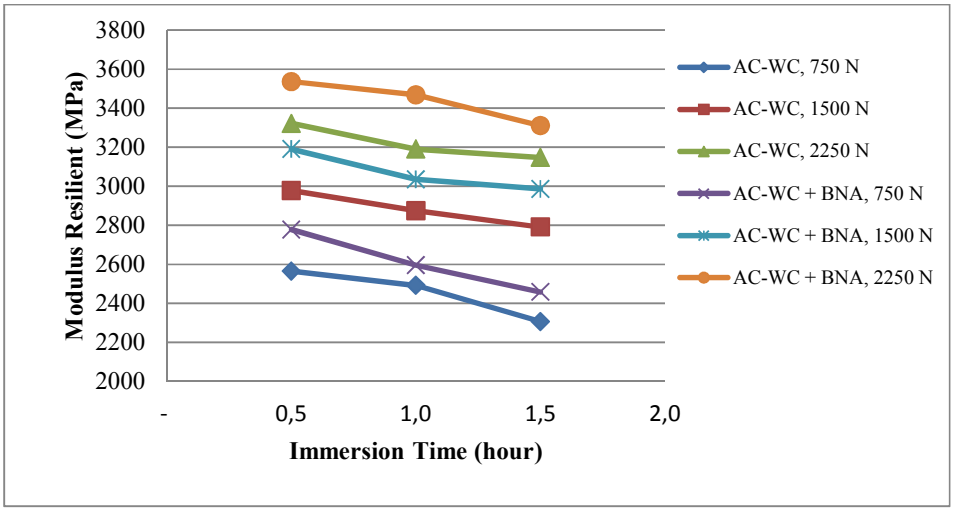
Setiap variasi beban yang diberikan, maupun lamanya waktu pembebanan dalam kondisi terendam, terlihat selisih regangan yang terjadi terhadap kedua jenis campuran. Campuran AC-WC Pen 60/70 lebih besar nilai regangannya dibanding campuran AC-WC modifikasi, berarti campuran AC-WC modifikasi lebih kaku dibanding campuran AC-WC Pen 60/70. Kekakuan tersebut tidak terlepas karakteristik BNA yang telah dibahas sebelumnya.

Perubahan tegangan tarik (*tensile stress*) hasil pengujian Umata terlihat dalam Gambar 4.17, bahwa pengaruh beban sangat besar terhadap kedua jenis campuran AC-WC modifikasi, maupun AC-WC Pen 60/70. Locatan kenaikan ditinjau dari waktu pembebanan yang sama (0.5 jam), nilai tegangan campuran AC-WC modifikasi pada beban 750 N adalah 77.09 kPa, pada beban 150 N = 148.90 kPa dan pembebanan 2250 N nilai tegangannya = 225.01 kPa. Demikian juga halnya dengan campuran AC-WC Pen 60/70, nilai tegangan tarik yang terjadi terhadap kedua jenis campuran relative sama, baik pengaruh berat beban maupun pengaruh lama pembebanan dalam kondisi terendam, seperti terlihat dalam Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Perubahan Tegangan Terhadap Beban dan Waktu Perendaman

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 4.19 Perubahan Modulus Resilien Terhadap Beban dan Periode Waktu Perendaman

Salah satu karakteristik campuran beraspal adalah modulus resilien, dimana besar atau kecilnya nilai modulus resilien akan mempengaruhi penyebaran tegangan akibat beban yang bekerja terhadap lapis perkerasan. Semakin besar modulus resilien (kekakuan) campuran beraspal, semakin besar pula daerah penyebaran tegangan kebagian bawahnya (Brown, 1982). Hasil pengujian dengan alat Umata terhadap benda uji yang telah dilakukan pengujian Marshall modifikasi sebelumnya, dengan tiga variasi beban dan tiga variasi lama waktu pembebanan dalam kondisi terendam (Tabel 4.11 dan Tabel 4.12). Modulus resilien pada Gambar 4.19, terlihat pengaruh pembebanan dan lama waktu rendaman, bahwa campuran AC-WC modifikasi selalu lebih tinggi dari modulus kekakuannya dibanding campuran AC-WC Pen 60/70. Hal ini sesuai dengan sifat BNA yang nilai penetrasinya rendah dan titik lembek yang tinggi serta kandungan aspal dalam campuran yang berbeda dengan aspal minyak Pen 60/70.

Pengaruh tiga variasi beban terhadap masing-masing jenis campuran terlihat jelas perbedaannya, semakin tinggi beban yang diberikan semakin tinggi pula nilai modulus resiliennya, sebaliknya pengaruh lama waktu pembebanan dalam kondisi teremdam, mulai dari waktu rendaman 30 menit ke 60 menit dan dari 60 menit ke 90 menit, terlihat menurun nilai modulus resiliennya. Persentase selisih perbedaan nilai modulus resilien pengaruh beban 750 N dengan lama

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

rendaman (0.5 jam, 1 jam dan 1.5 jam) dan seterusnya dari hasil analisa diperlihatkan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Analisisa Selisih Modulus Resilien Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi

No.	Pembebanan Alat Umata (N)		Lama pembebanan saat Direndam (jam)	Campuran AC-WC Pen 60/70	Campuran AC-WC Modifikasi	Selisih *MR* Campran AC-WC Pen 60/70 dengan Campuran AC-WC Modifikasi(%)
				Modulus Resilient (Mpa)	Modulus Resilient (Mpa)	
1	5%	750.00	0.5	2558.38	2834.93	10.81
2		750.00	1.0	2378.07	2570.29	8.08
3		750.00	1.5	2298.28	2421.48	5.36
					rata-rata	**8.08**
4	10%	1,500.00	0.5	2983.07	3209.47	7.59
5		1,500.00	1.0	2893.60	3043.93	5.20
6		1,500.00	1.5	2799.25	2991.18	6.86
					rata-rata	**6.55**
7	15%	2,250.00	0.5	3341.31	3554.64	6.38
8		2,250.00	1.0	3200.95	3489.09	9.00
9		2,250.00	1.5	3161.90	3331.02	5.35
					rata-rata	**6.91**
10		3,000.00	Benda uji Asli (tanpa direndam) pada KAO 5.9%	4183.27	5504.74	31.59
11		3,000.00		4127.25	5403.44	30.92
12		3,000.00		4148.93	5612.03	35.26
Rata-rata				4153.15	5506.74	**32.59**

Persentase selisih nilai modulus resilien campuran AC-WC modifikasi selalu lebih tinggi dibanding campuran dibanding campuran AC-WC Pen 60/70 (dalam kolom terakhir Tabel 4.13). Pada beban yang sama (750 N) dengan variasi rentang waktu 0.5 jam sampai 1.5 jam, rata-rata selisihnya 8,08 %, rata-rata selisih pembeban 1500 N = 6.55 % dan pembebanan 2250 N = 6.91 %, sedangkan untuk beban standar uji Umata (3000 N) yaitu benda uji yang tidak mengalami pembebanan dalam rendaman uji Marshall modifikasi perbedaan modulus resiliennya sangat signifikan yaitu 32.59 % lebih tinggi modulus resilien campuran AC-WC modifikasi.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Selanjutnya pengaruh beban yang sama terhadap variasi waktu, juga ditampilkan selisih persentase antara kedua jenis campuran. Nilai modulus resilien pengaruh variasi waktu mulai dari rentang waktu 0.5 jam sampai 1.5 jam makin lama makin menurun.

Selanjutnya adalah pengaruh air terhadap variasi lama waktu pembebanan dengan beban standar. Tetapi pengujian beban standar tidak dilakukan terhadap benda uji yang mengalami uji Marshall modifikasi. Maka untuk mendapatkan nilai-nilai uji Umata beban standar, dilakukan dengan cara mengkonversikan ke beban standar (3000 N), yaitu beban standar dibagi (beban pengujian) pada variasi waktu yang bersangkutan dikalikan dengan (hasil pengujian) pada variasi waktu tersebut, maka didapat nilai-nilai beban standar variasi waktu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit, seperti hasil terdapat dalam Tabel 4.14

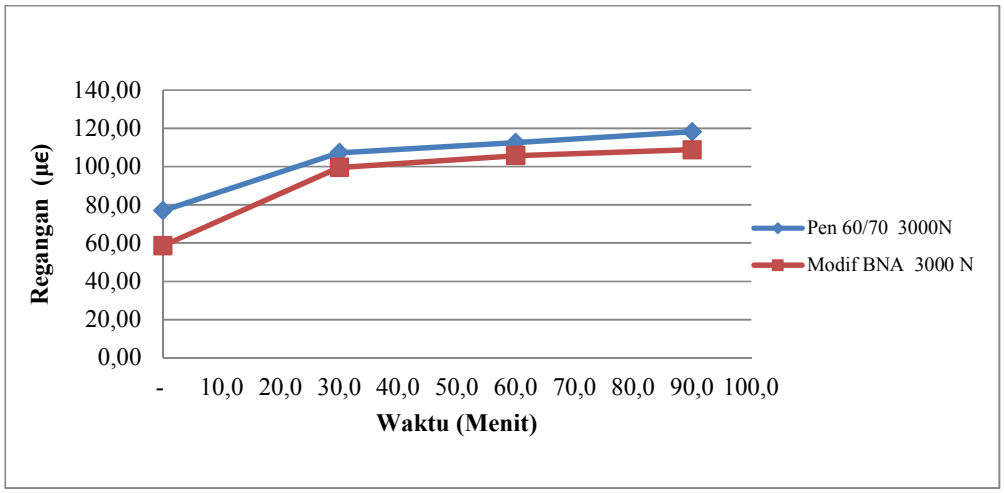
Tabel 4.14 Analisa hasil Pengujian Umata Pengaruh Waktu Pembebanan Dalam Kondisi Terendam

Lama Pembe-banan Teren-dam (menit)	Beban (N)	**Campuran AC-WC PEN 60/70**			**Campuran AC-WC Modifikasi BNA**		
		Tot. Recov Strain (μ□)	Tensile Stress (kPa)	Modulus Resilient (Mpa)	Tot. Recov Strain (μ□)	Tensile Stress (kPa)	Modulus Resilient (Mpa)
-	3000	76.97	295.60	4153.15	58.60	289.37	5506.74
30	3000	107.31	298.08	3305.67	99.59	300.53	3542.88
60	3000	112.53	298.16	3190.21	105.74	300.85	3394.60
90	3000	118.23	301.23	3076.96	108.75	302.81	3266.42

Analisa pengaruh waktu dengan beban standar yang sama terhadap masing-masing parameter pengujian alat Umata terlihat perbedaan nilai-nilainya dalam Tabel 4.14. Untuk parameter *strain* beban standar yang tidak dipengaruhi lama waktu pembebanan uji Marshall modifikasi, nilai *strain* masih kecil yaitu 76.97 μ□ untuk campuran AC-WC Pen 60/70, dan untuk campuran AC-WC modifikasi 58.60 μ□, selanjutnya begitu dipengaruhi waktu pembebanan terendam dalam air mengalami perobahan yang sangat signifikan. Makin lama

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

waktu pembebanan dalam air makin besar nilai regangan tarik yang terjadi terhadap kedua jenis campuran. Berarti air juga memberikan konstribusi melemahnya ikatan aspal dalam campuran perkerasan. Fenomena ini terjadi untuk kedua jenis campuran, tetapi regangan yang terjadi pada campuran AC-WC Pen 60/70 lebih besar dari campuran AC-WC modifikasi, hal ini merupakan dampak dari perbedaan sifat-sifat kedua jenis aspal dalam campuran tersebut. Pebedaan nilai regangan terlihat dalam Gambar 4.20,



Gambar 4.20 Perubahan Regangan Pengaruh Waktu

Tabel 4.15 Selisih Nilai Modulus Resilien Pengaruh Waktu Perendaman

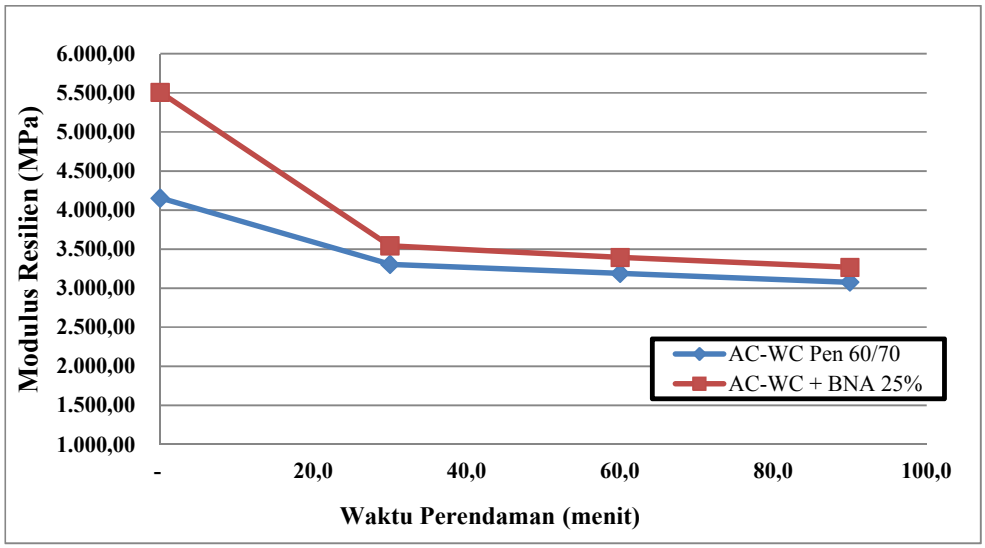
Waktu Pembebanan dalam Air (Menit)	Beban (N)	PEN 60/70	Modifikasi BNA	Selisih Modulus Resilien Pen 60/70 dengan Modif. BNA (%)
		Modulus Resilien (Mpa)	Modulus Resilien (Mpa)	
0	3000	4153.15	5506.74	32.59
30	3000	3305.67	3542.88	7.18
60	3000	3190.21	3394.60	6.41
90	3000	3076.96	3266.42	6.16

Analisa selisih nilai modulus resilien pengaruh waktu (0 menit, 30 menit, 60 menit dan 90 menit) akibat pembebanan dalam air, didapat persentasenya sebagaimana terlihat dalam Tabel 4.15. Benda uji yang tidak mengalami

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

pembebanan dalam air (0 menit) nilai modulus resilien pengujian Umata kedua jenis campuran cukup besar, sungguhpun sama-sama mengandung Kadar Aspal Optimum 5.9 %. Selisih modulus resilien campuran AC-WC modifikasi terhadap campuran AC-WC Pen 60/70 didapat 32.59 %, selisih lama rendaman 30 menit = 7.18 %, waktu pembebanan 60 menit selisihnya = 6.41 % dan waktu 90 menit = 6.16 %. Kesemua variasi waktu dalam pengujian tersebut modulus kekakuan campuran AC-WC modifikasi, lebih besar dari campuran AC-WC Pen 60/70.

Selanjutnya diamati penurunan modulus resilien pengaruh waktu mulai dari benda uji yang tidak dipengaruhi beban uji Marshall modifikasi dibanding dengan benda uji yang mengalami uji Marshall modifikasi terendam 30 menit, sangat signifikan penurunannnya, selanjutnya pengaruh air rendaman makin lama makin besar penurunan modulus resilienya, seperti terlihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Perubahan Modulus Resilien Akibat Waktu Rendaman

Fenomena penurunan nilai modulus resilien waktu rendaman sama halnya dengan nilai stabilitas pengujian Marsahal standar terhadap benda uji yang mengalami pengujian Marshall modifikasi sebelumnya seperti terlihat dalam Tabel 4.8 dan Gambar 4.12. Hal ini dapat disebabkan terjadinya perubahan struktur molekuler pengaruh beban dan rendaman air. Begitu beban berulang bekerja makin lama terdapat porositas dalam campuran yang semakin membesar, selanjutnya terjadi infiltrasi ke dalam lapisan perkerasan dan merusak ikatan aspal

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

terhadap agregatnya, yang semula kecil dan dangkal berkembang menjadi besar dan dalam, yang disebut lubang (B.C. *Ministry of Transportation,* 2007) dalam Agus Taufik Mulyono (2008).

Kondisi nyata lainnya dilapangan, pada saat musim hujan, curah hujan menghasilkan air limpasan yang besar dan mampu infiltrasi ke dalam lapisan perkerasan melalui rongga-rongga udara yang tersisa dari proses pemadatannya, air yang merembes tersebut mempercepat proses pelepasan butiran dari kelompoknya selanjutnya membentuk lubang (Watanatada *et al.*, 1987 dalam Gedafa, 2006); dan (ii) repetisi beban lalu lintas kendaraan berat dapat memperparah dan kecenderungan perluasan lubang permukaan perkerasan ketika infiltrasi air hujan mencapai konstruksi perkerasan (Watanatada *et al.*, 1987 dalam Gedafa, 2006). Seperti halnya *cracking* dan *ravelling*, *potholes* tidak terjadi langsung pada awal umur pelayanan jalan, biasanya didahului dengan terjadinya *cracking, ravelling* dan *rutting* bersamaan dengan repetisi beban lalu lintas dan infiltrasi air hujan, maka terbentuklah lubang-lubang pada permukaan perkerasan, dengan sendirinya nilai stabilitas dan kekakuan campuran akan berkurang.

Dari analisa hasil pengujian yang memperlihatkan nilai stabilitas, modulus kekakuan campuran AC-WC modifikasi lebih tinggi dibanding campuran AC-WC Pen 60/70. Pengaruh terhadap air masing-masing campuran tidak terlepas dari karakteristik dan sifat-sifat aspal dalam campuran. BNA sebagai bahan aditif mempunyai kandungan *filler hydrophobic* dalam jumlah yang optimal yang tersebar merata dalam BNA, dan dapat membentuk *mastic* aspal yang kuat dan lebih kedap air sehingga dapat menaikan ketahanan campuran terhadap pengaruh negativ air, (Aston Adhi Jaya, 2007)

4.5 Kinerja Ketahanan Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi

Untuk melihat kinerja ketahanan deformasi campuran, dilakukan pengujian Whell Tracking masing-masing satu benda uji untuk campuran AC-WC Pen 60/70 dan campuran AC-WC modifikasi pada kadar aspal yang sama, yaitu 5.9 %, pengujian kedua jenis campuran dilakukan pengkondisian benda uji

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

pada temperatur 60 ºC selama 4 jam dan prosedur pengujian sesuai *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement -Japan Road Association, JRA (1980)* . Parameter yang diamati pada pengujian ini adalah Stabilitas Dinamis (*Dynamic Stability*), Laju Deformasi (*Rate of Deformation*) dan *Permanent Deformation*.

Hasil pengujian campuran AC-WC Pen 60/70 dan campuran AC-WC Modifikasi, digandengkan dengan data sekunder sebagai perbandingan yaitu hasil penelitian (Fikri Rizal, 2010) dengan menggunakan aspal minyak Pen 60/70 merek Shell dengan KAO *Ref* 5.31% yang diuji pada pada temperatur 60 ºC dan 45 ºC. Adapun data hasil pengujian Whell Tracking disajikan dalam Tabel 4.16

Tabel 4.16. Hasil pengujian dengan alat Whell Tracking Machine (WTM)

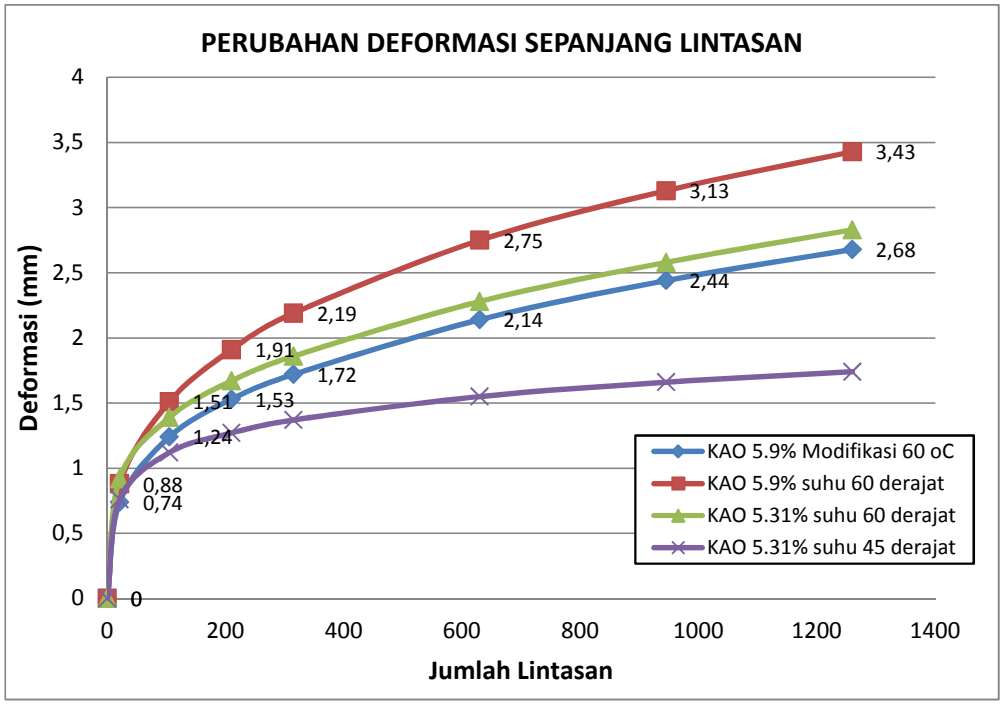
Waktu t (Menit)	Jumlah Siklus (L)	Deformasi, d (mm) Campuran AC-WC:			
		Modifikasi KAO 5.9%, 60 °C	PEN 60/70 KAO 5.9%, 60 °C	PEN 60/70 KAO 5.31%, 60 °C	PEN 60/70 KAO 5.31%, 45 °C
0	0	0	0	0	0
1	21	0.74	0.88	0.92	0.76
5	105	1.24	1.51	1.39	1.12
10	210	1.53	1.91	1.67	1.27
15	315	1.72	2.19	1.86	1.37
30	630	2.14	2.75	2.28	1.55
45	945	2.44	3.13	2.58	1.66
60	1260	2.68	3.43	2.83	1.74
Temperatur (ºC)		60	60	60	45
Deformasi permanen (mm)		1.720	1.350	1.830	1.420
Stabilitas dinamis (L/mm)		2,625	2,250	2,520	7,875
Laju deformasi (mm/menit)		0.0160	0.0187	0.0167	0.0053

Analisis Kinerja Ketahanan Deformasi Campuran AC-WC Pen 60/70 dan Campuran AC-WC Modifikasi

Dari hasil pengujian yang terlihat dalam Tabel 4.16, dan Gambar 4.22, nilai ketahanan terhadap deformasi permanen campuran AC-WC modifikasi lebih tinggi dibanding menggunakan campuran AC-WC Pen 60/70. Pada lintasan ke 21

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

campuran AC-WC modifikasi terlihat mengalami deformasi 0.74 mm, sedangkan campuran AC-WC Pen 60/70 deformasinya 0.88 mm, terdapat selisih deformasi sebesar 15.91 % lebih rendah campuran AC-WC modifikasi.



Gambar 4.22 Perubahan Deformasi Sepanjang Lintasan

Begitu seterusnya sampai pada lintasan 1260, deformasi permanen untuk campuran AC-WC modifikasi 2.68 mm, campuran Pen 60/70 deformasinya 3.43 mm, selisihnya antara kedua campuran semakin besar yaitu 21.86 %, berarti ketahanan terhadap deformasi permanen campuran Pen 60/70 lebih besar dibanding campuran AC-WC modifikasi.

Stabilitas Dinamis campuran AC-WC modifikasi 2625 lintasan /mm, nilai tersebut memenuhi persyaratan *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement-Japan Road Association, JRA* (1980), yaitu > 2500 lintasan/mm. Campuran AC-WC modifikasi menghasilkan Stabilitas Dinamis (DS) = 2625 lintasan/mm, lebih besar dari DS Pen 60/70 = 2250 lintasan/mm atau (14.29 %) lebih besar campuran AC-WC modifikasi. Sebaliknya Laju Deformasi (RD) =

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

0.0160 mm/menit lebih kecil dari RD = 0.0187 mm/menit) atau 14.44 % lebih kecil dibanding laju deformasi campuran AC-WC Pen 60/70.

Dibandingkan dengan nilai pengujian data pendamping, dengan menggunakan campuran AC-WC Pen 60/70 yang sama, serta temperatur pengujian yang sama (60 °C), lebih tinggi prubahan deformasi yang mengunakan KAO 5.9 %. Data pembanding lebih rendah, hal ini bisa akibat pengaruh KAO*ref* 5.31 %, selain itu pemadatan data pembanding menggunakan metoda Kepadatan Mutlak (*Refusal Density*). Lain halnya dengan campuran AC-WC Pen 60/70 KAO*ref* 5.31 % yang diuji pada suhu 45 °C, jauh lebih rendah perubahan deformasi sepanjang lintasannya. Pengaruh suhu sangat besar terhadap perubahan deformasi campuran, makin tinggi temperatur, makin tinggi pula nilai penurunan deformasi dan sebaiknya makin rendah temperatur pengujian makin rendah pula nilai penurunan deformasi setiap campuran.

Perbedaan yang relativ besar antara campuran AC-WC modifikasi dan campuran AC-WC Pen 60/70, menunjukan bahwa dalam pengujian pada temperatur 60 °C , mengakibat peran aspal sebagai pengikat dalam campuran menggunakan aspal Pen 60/70, lebih cepat mengalami perubahan karakteristik dan sifat dari kodisi *Viscous-elastic* menjadi *Viscous-liqquid*. Selain itu nilai titik lembek BNA cukup tinggi yaitu 121 °C, sedangkan titik lembek aspal Pen 60/70 51.5 °C. Dengan demikian dalam pengujian pada temperatur 60 °C kinerja ketahanan terhadap deformasi campuran AC-WC Pen 60/70 lebih rendah dibanding campuran AC-WC modifikasi.

Hasil Pengujian dengan Wheel Tracking ini sesuai dengan hasil pengujian Modulus Resilien, dimana campuran AC-WC modifikasi mempunyai nilai kekakuan yang lebih besar. Demikan juga dengan pengujian Marshall Modifikasi, maupun Marshall standar. Pada pengujian Marshall standar memiliki nilai *Marshall Quotient* dan Indek Kekuatan Sisa lebih tinggi. Berarti campuran AC-WC modifikasi, terbukti memiliki ketahanan terhadap deformasi permanen yang lebih baik dari campuran AC-WC Pen 60/70.

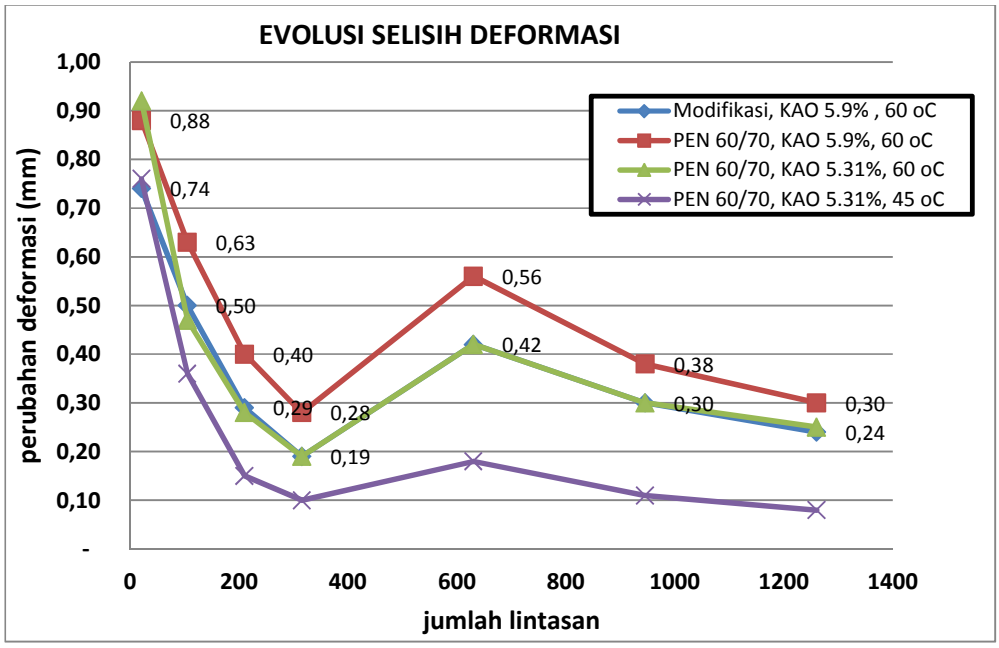
Dari data deformasi yang terjadi sepanjang lintasan (Tabel 4.16), diamati dan dianalisis selisih deformasi setiap lintasan kedua jenis campuran yang diuji, baik campuran AC-WC Pen 60/70 maupun campuran AC-WC modifikasi sama-

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

sama mengunakan KAO 5.9 %. Selisih deformasi tersebut dihitung dari nilai deformasi yang terjadi pada lintasan ke (n), dikurangi dengan nilai deformasi pada lintasan sebelumnya. seperti terlihat dalam Tabel 4.17

Tabel 4.17 Selisih Deformasi Pengujian Whell Tracking

Jumlah Lintasan	Jenis Campuran AC-WC			
	Modifikasi, KAO 5.9% , 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.9%, 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.31%, 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.31%, 45 °C
0	0	0	0	0
21	0.74	0.88	0.92	0.76
105	0.50	0.63	0.47	0.36
210	0.29	0.40	0.28	0.15
315	0.19	0.28	0.19	0.10
630	0.42	0.56	0.42	0.18
945	0.30	0.38	0.30	0.11
1260	0.24	0.30	0.25	0.08



Gambar 4.23 Evolusi Selisih Deformasi

Hasil analisis data yang terdapat dalam tabel 4.17 diamati secara berurutan, terdapat lonjakan nilai selisih deformasi yang aneh, yaitu pada lintasan 315 menuju lintasan 630, terjadi peningkatan nilai selisihnya deformasi yang cukup signifikan. Lalu digabungkan dan dibandingkan dengan data sekunder (referensi) lainnya, baik pengujian pada temperatur 60 ºC maupun 45 ºC terlihat bentuk atau karakteristiknya grafiknya sama.

Terjadinya evolusi selisih deformasi bisa saja pengaruh dari VIM, VMA fraksi agregat dan susunan agregat dadalam campuran benda uji, dan apabila diamati penyebaran gaya akibat pembebanan sebelum litasan 315, selisih deformasi yang terjadi turun secara beraturan, begitu melewati lintas ke 315 benda uji menjadi membal atau padat beberapa mm atau cm pada lapisan atas, sementara pada mulanya komposisi agregat dalam campuran tidak diketahui bentuk susunannya. Dengan adanya repetisi beban, adakalanya susunan agregat kasar dalam campuran kemungkinan pada mulanya dalam posisi berdiri, akhirnya bisa menjadi miring atau rebah. karena lapisan dibawahnya yang masih ada rongga (VIM) untuk bisa bergerser kebagian samping ataupun bagian bawahnya. Pergerakan mekanik seperti itu bisa menyebabkan evolusi selisih deformasi dari lintasan 315 menuju lintasan 630, lalu mulai padat lagi benda uji tersebut, Selisih perubahan deformasi mulai mengecil lagi seperti terlihat pada Gambar 4.23.

Fenomena diatas perlu dikaji lebih dan diteliti lanjut, seperti apa mikro mekanik dalam campuran akibat pembebanan pada siklus ke; 315, 420, 525, 630 dan seterusnya, apakah angka-angka tersebut merupakan formula dari alat *counter Wheel Tracking Machine* ?, maka perlu pembuktian lebih lanjut. Karena selama ini belum ada penelitian pengujian dengan alat Whell Tracking yang mengungkit hal tersebut, hanya cukup sebatas mengetahui nilai *Dynamic Stability*, *Rate of Deformation* dan *Permanent Deformation* dari campuran yang di rancang.

Selanjutnya dikaji Perubahan Laju Deformasi sepanjang lintasan semua jenis campuran. Angka-angka perubahan laju deformasi sepanjang lintasan didapat dari nilai selisih deformasi (Tabel 4.17) pada lintasan yang sama dibagi dengan (jumlah lintasan yang sama, dikurangi lintasan sebelumnya). Maka

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

didapat angka-angka perubahan laju deformasi sepanjang lintasan seperti dalam Tabel 4.18

Tabel 4.18. Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan

Jumlah Lintasan	Jenis Campuran AC-WC			
	Modifikasi, KAO 5.9% , 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.9%, 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.31%, 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.31%, 45 °C
0				
21	0.0352	0.0419	0.0438	0.0362
105	0.0060	0.0075	0.0056	0.0043
210	0.0028	0.0038	0.0027	0.0014
315	0.0018	0.0027	0.0018	0.0010
630	0.0013	0.0018	0.0013	0.0006
945	0.0010	0.0012	0.0010	0.0003
1260	0.0008	0.0010	0.0008	0.0003

Analisis Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan

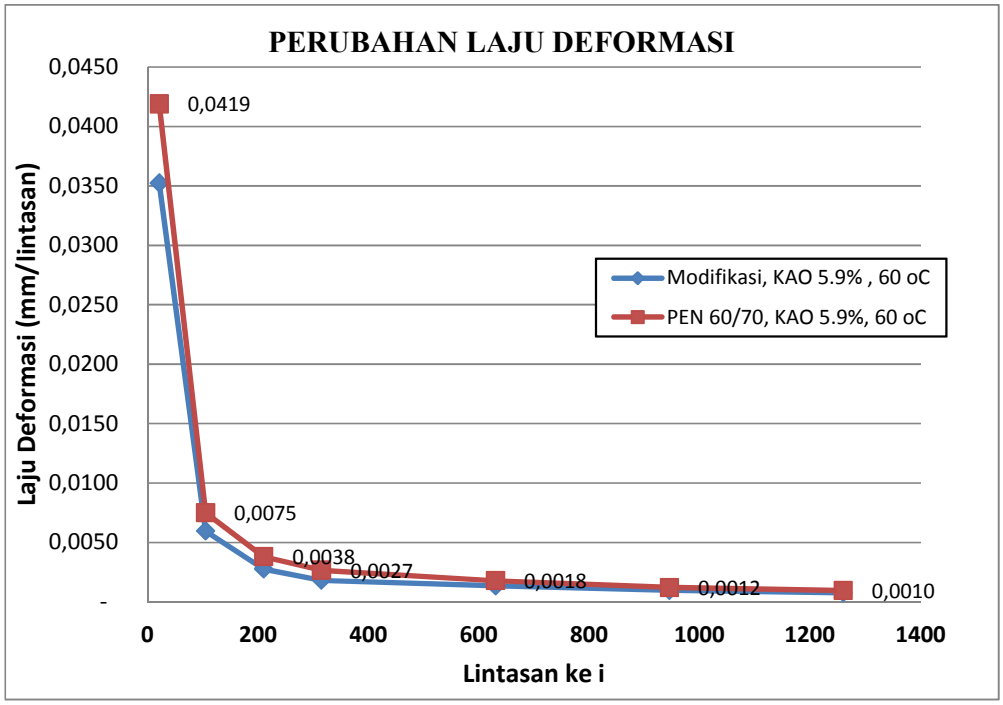
Data dari Tabel 4.18 diolah dalam bentuk grafik pada Gambar 4.24 , 4.25 dan Gambar 4.26 yang merupakan gabungan gambar 4.24 dan 4.25.

Gambar 4.24 memperlihatkan selisih perubahan deformasi sepanjang litasan antara campuran AC-WC modifikasi dan campuran AC-WC Pen 60/70. Pada lintasan ke 21 mulai dari awal (0) perubahan laju deformasi campuran AC-WC modifikasi 0.0352 mm, perubahan pada campuran Pen 60/70 adalah 0.0419, lebih besar dibanding campuran AC-WC modifikasi. Demikian seterusnya sampai akhir lintasan yaitu 1260 lintasan, nilai laju perubahan deformasi Pen 60/70 lebih besar dibanding campuran AC-WC modifikasi.

Nilai laju perubahan deformasi yang diperlihatkan dalam Tabel 4.18, bahwa semakin banyak lintasan, semakin kecil nilai laju perubahan untuk semua jenis campuran, baik ditinjau dari KAO maupun temperatur pengujian seperti yang terlihat juga pada Gambar 4.24, demikian juga menggunakan campuran Kadar Aspal Optimum Refusal 5.31 %, terlihat pada Gambar 4.26 gabungan dari 2 jenis kadar aspal dan salah satunya diuji pada temperature 45 °C. Hal ini merupakan akibat dari beban yang melintasi, semakin banyak beban yang melintasi perkerasan semakin padat, rongga didalam campuran (VIM maupun VMA) semakin berkurang sehingga nilai perubahan laju deformasi semakin kecil.

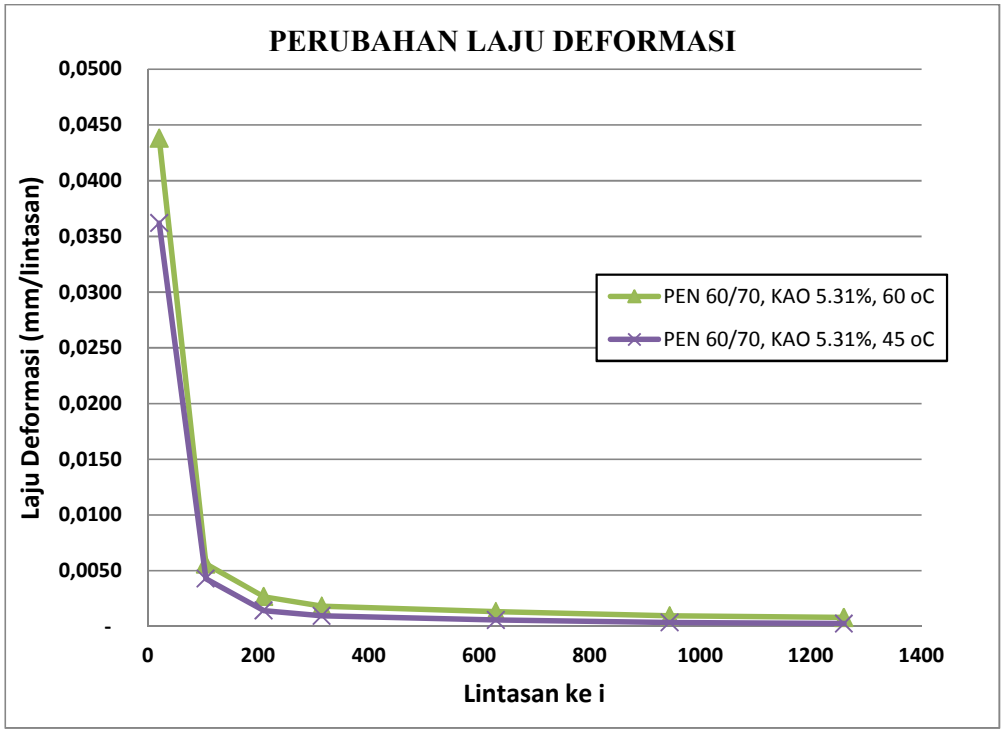
Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Besar atau kecilnya nilai perubahan laju deformasi masing-masing campuran pada lintasan ke (n) yang sama, terutama adalah akibat dari karakeristik dan sifat aspal serta fraksi maupun gradasi agregat yang dipakai dalam campuran.

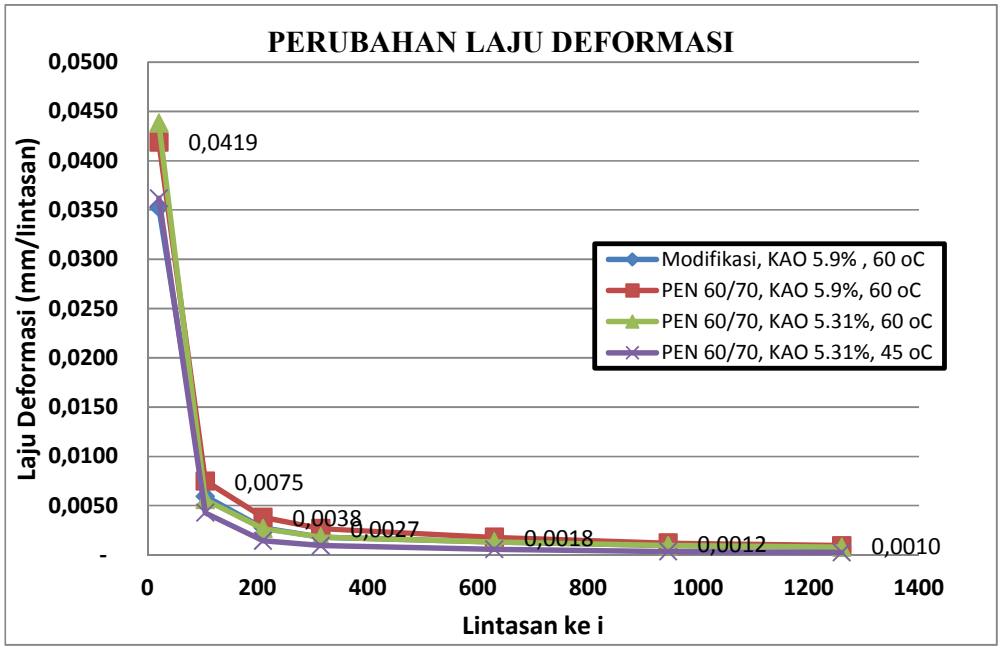


Gambar 4.24 Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 4.25 Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan



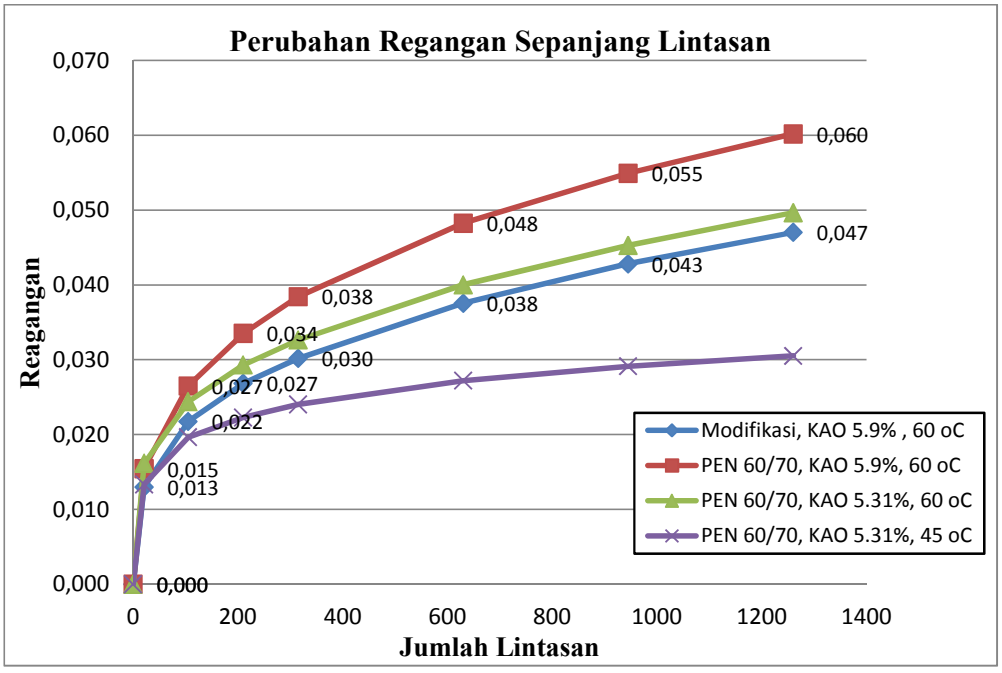
Gambar 4.26 Perubahan Laju Deformasi Sepanjang Lintasan (Gabungan).

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Selanjutnya dapat dianalisis perubahan regangan sepanjang lintasan, dengan membagi nilai deformasi tiap lintasan masing-masing jenis campuran, dengan nilai regangan tarik yang didapat dari hasil pengujian Umata. Hasil regangan tarik diambil dari nilai pengujian Umata, dijadikan sebagai pembagi bilangan deformasi pada pengujian Wheel Tracking, yaitu regangan tarik (*strain*) campuran AC-WC modifikasi sebesar 56.98. Hasil perubahan regangan sepanjang lintasan terlihat dalam Tabel 4.19.

Tabel 4.19. Hasil Perubahan Regangan Tarik Sepanjang Lintasan

Jumlah Lintasan	Jenis Campuran AC-WC			
	Modifikasi, KAO 5.9% , 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.9%, 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.31%, 60 °C	PEN 60/70, KAO 5.31%, 45 °C
0	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.013	0.015	0.016	0.013
105	0.022	0.027	0.024	0.020
210	0.027	0.034	0.029	0.022
315	0.030	0.038	0.033	0.024
630	0.038	0.048	0.040	0.027
945	0.043	0.055	0.045	0.029
1260	0.047	0.060	0.050	0.031



Gambar 4.27 Perubahan Regangan Sepanjang Lintasan

Analisis Perubahan Regangan Sepanjang Lintasan

Karakteristik perubahan regangan tersebut sama bentuknya seperti karakteristik yang terjadi pada perubahan deformasi sepanjang lintasan, hanya besaran nilai dan satuannya yang berbeda (seperti Gambar 4.27). Perubahan regangan campuran AC-WC Pen 60 tetap lebih besar dibandingkan dengan campuran AC-WC modifikasi. Untuk campuran AC-WC Pen 60/70 KAO*ref* pengujian dilakukan pada temperatur 45 ^{o}C, jauh lebih kecil nilai regangannya, sehubungan benda uji masih bersifat kaku dibandingkan dengan campuran yang diuji pada temperatur 60 ^{o}C. Kinerja semua jenis campuran akibat pengaruh perubahan regangan sepanjang lintasan, bentuk gambarnya identik dengan gambar 4.22 (perubahan deformasi sepanjang lintasan)

4.6 Visualisasi Mikro Campuran AC-WC

Untuk melihat karakteristik visualisasi mikro Campuran Aspal Beton, dilakukan pengambilan gambar dengan alat SEM terhadap bagian permukaan benda benda uji. Semua benda uji dibuat setiap jenis campuran dengan Kadar Aspal Optimum yang sama (5.9 %). Proses pembuatan benda uji sama dengan benda uji Marshall. Benda uji yang masih utuh dipotong, lalu diambil bagian tengahnya sesuai dengan ukuran yang ditentukan. Untuk mendapatkan gambar SEM yang lebih bagus, permukaan benda uji yang akan diambil gambarnya di *coating* terlebih dulu, agar permukaan benda uji menjadi konduktif, barulah dilakukan proses pengambilan gambar dengan alat SEM. Pengambilan gambar bisa 10.000 kali pembesaran, dalam penelitian ini diambil beberapa variasi skala pembesaran, antara lain 100 : 1; 200 : 1 ; 500 :1 dan 1000 : 1.

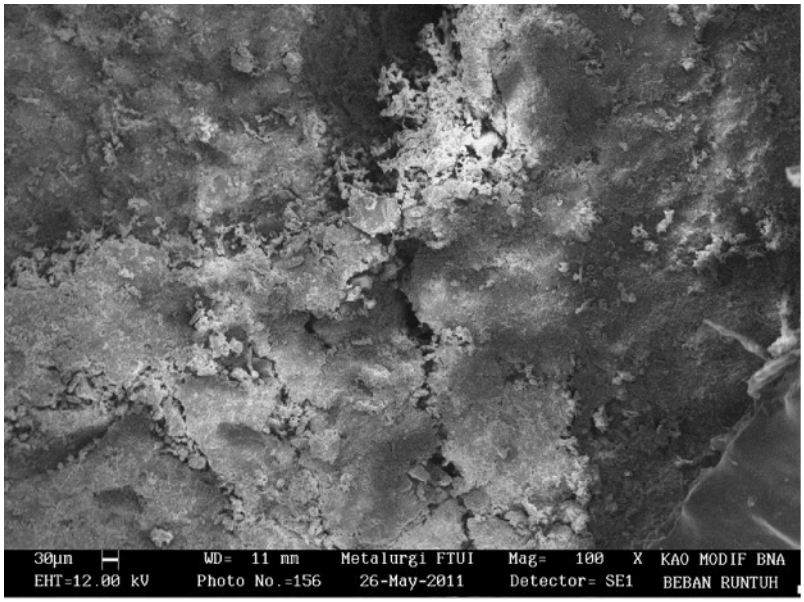
Kriteria benda uji yang dipersiapkan untuk di ambil gambarnya dengan alat SEM sebanyak 4 sampel sebagai berikut:

1. Campuran AC-WC Modifikasi, setelah dilakukan uji Marshall sampai runtuh (sampai dapat nilai stabilitas maksimum).
2. Campuran AC-WC Modifikasi, setelah dilakukan pengujian Marshal modifikasi dengan pembebanan 5% dari beban runtuh. Pembebanan dilakukan secara berulang dalam kondisi terendam selama 1.5 jam.

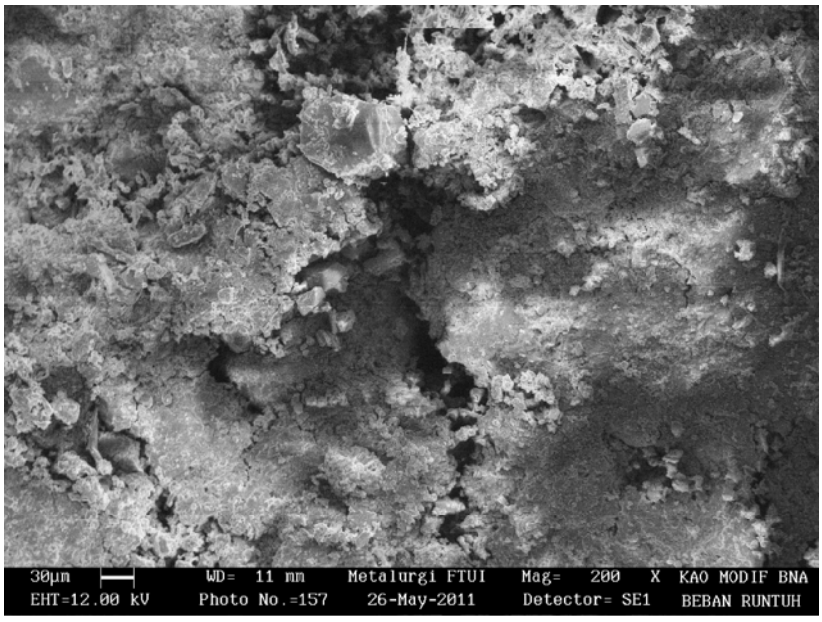
Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

3. Campuran AC-WC PEN 60/70
4. Campuran AC-WC Modifikasi

Hasil Gambar SEM masing-masing kriteria terlihat sebagai berikut:

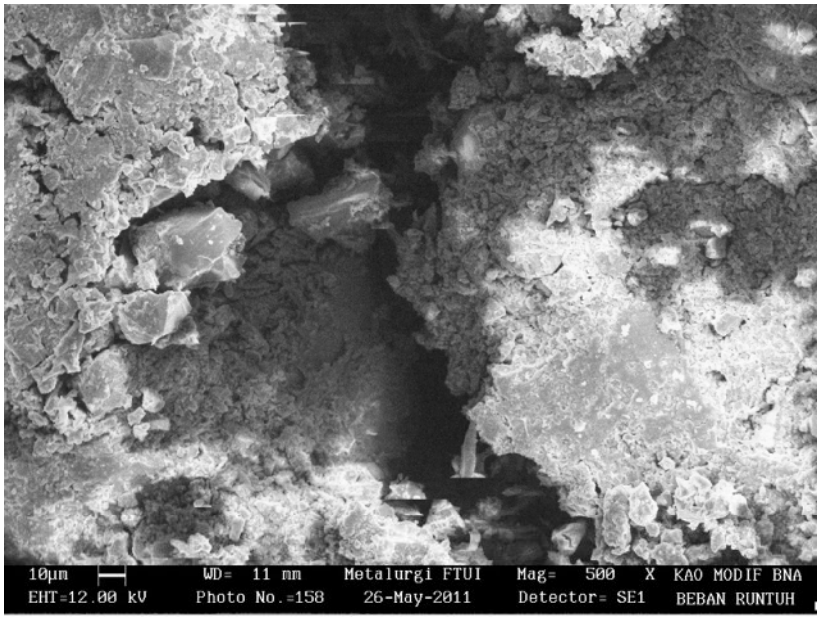


Gambar 4.28 Campuran AC-WC Modifikasi Kondisi Pembebanan Sampai Runtuh (Uji Marshall), Skala 100 : 1



Gambar 4.29 Campuran AC-WC Modifikasi Kondisi Pembebanan Sampai Runtuh (Uji Marshall), Skala 200 : 1

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



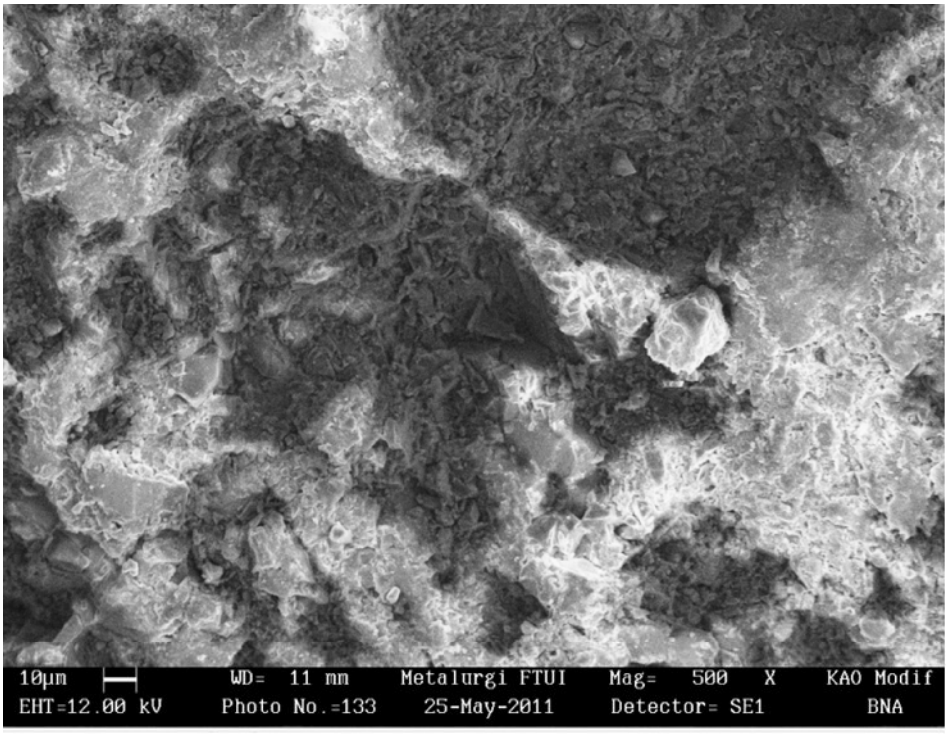
Gambar 4.30 Benda Uji Campuran AC-WC Modifikasi Kondisi Pembebanan Sampai Runtuh (Uji Marshall), Skala 500 : 1

Gambar 4.28 skala 100 : 1, Gambar 4.29 skala 200 : 1, dan Gambar 4.30 adalah benda uji campuran AC-WC modifikasi yang telah mengalami pengujian Marshall standar sampai benda uji runtuh (stabilitas maksimum).

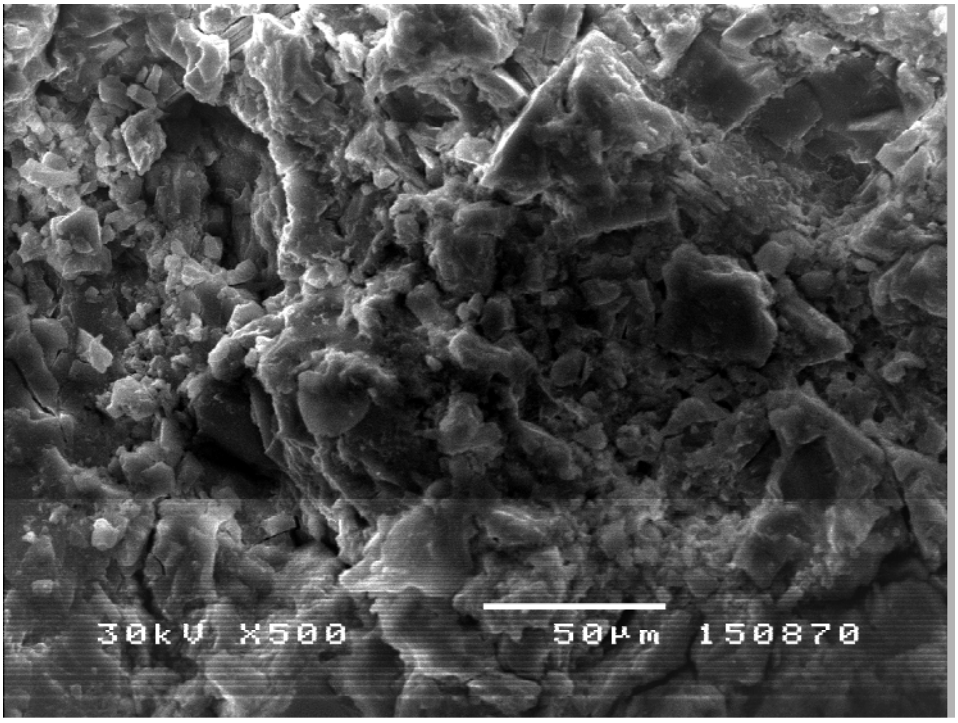
Sebelum benda uji diambil gambarnya dengan alat SEM, permukaannya terlihat mulus, licin dan rata. Bahkan tidak terlihat sama sekali adanya keretakan atau rongga pada benda uji. Setelah dilakukan pengambilan gambar, lalu dimati secara visual terlihat adanya alur atau retakan serta rongga yang cukup besar (± 120 µm) pada bagian tengah (inti) benda uji, selain pada bagian inti disisi lain juga banyak terlihat retakan kecil atau terlepasnya ikatan aspal terhadap agregat satu sama lainnya.

Pada keadaan nyata dilapangan, jika ditemui retakan dan angka pori yang besar seperti Gambar 4.28, sangat mudah bagi air untuk masuk kedalam rongga perkerasan jalan dan air dapat melemahkan ikatan aspal dengan agregat. Begitu dilewati beban kendaraan, maka dengan cepat akan terbentuk lobang, begitu lobang kecil terbentuk, lama-lama lobang akan menjadi besar, akibat beban lalulintas secara berulang.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



Gambar 4.31, Campuran AC-WC Modifikasi Skala 500 : 1



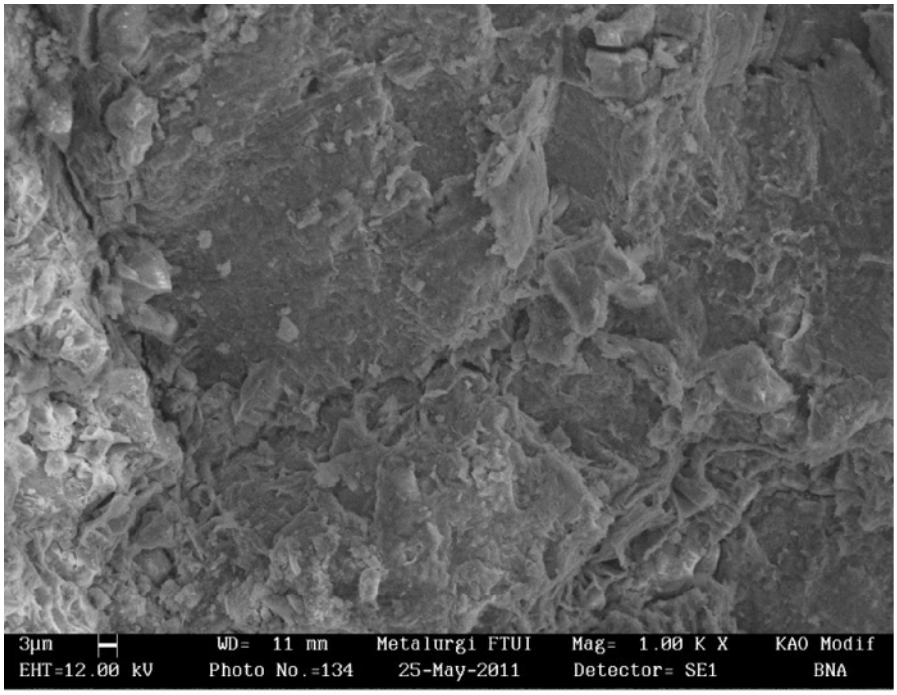
Gambar 4.32 Campuran AC-WC PEN 60/70 Skala 500 : 1

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

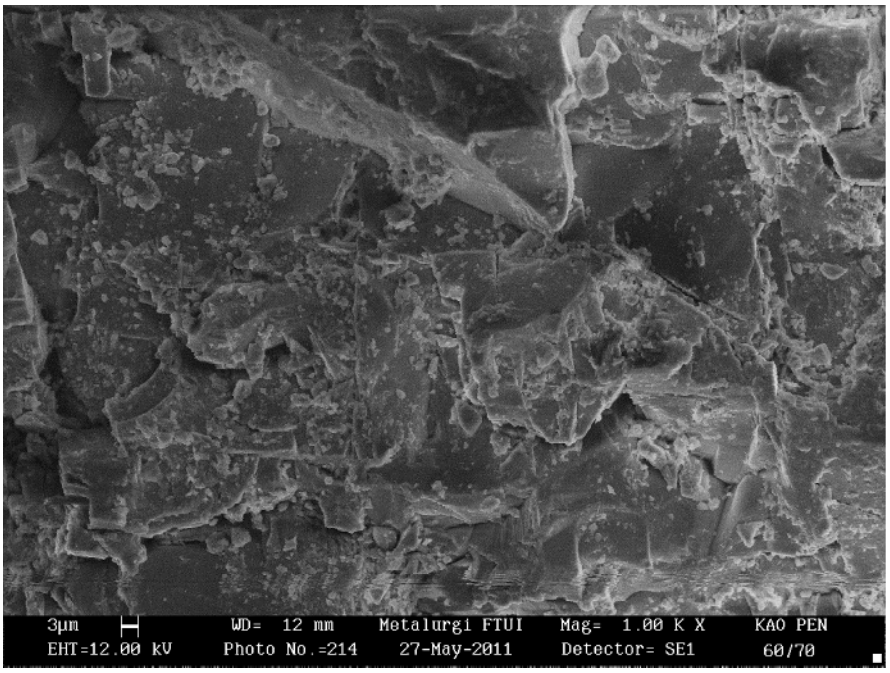
Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 adalah pasangan campuran AC-WC modifikasi dan campuran AC-WC Pen 60/70 dengan KAO yang sama (5.9 %), skala gambar kedua campuran sma-sama 500 : 1. Dilihat secara visual sebaran butir campuran AC-WC modifikasi (Gambar 4.31) terlihat lebih halus dibanding campuran AC-WC Pen 60/70 (Gambar 4.32), sedangkan komposisi gradasi agregat yang digunakan sama untuk kedua jenis campuran. Perbedaan bentuk permukaan benda uji seperti itu dapat disebabkan; pengaruh posisi pengambilan benda uji yang berbeda, kerakteristik aspal yang berbeda, dan adanya terdapat *filler hydropobic* dalam campuran AC-WC modifikasi. Perbedaan bentuk permukaan seperti itu, juga terlihat dalam campuran yang sama, dengan skala pembesaran gambar yang sama yaitu (1000 : 1). Rongga udara dalam campuran (VIM) dapat terditeksi secara visual pada kedua jenis campuran (Gambar 4.33 dan Gambar 4.34). Lubang-lubang atau bidang yang gelap dihitung dengan metoda sederhana yaitu membuat garis-garis mm diatas platik transparan. Selanjutnya ditempelkan ke gambar dan dihitung luas bidang rongga yang terditeksi sebagai lobang atau rongga, maka didapat luas bidang rongga. Kedalaman rongga tidak bisa terbaca secara pasti dalam gambar SEM. diasumsikan bentuk rongga berupa kubus, berarti panjang sisi kubus sama dengan dalam sisi bidang rongga (sama dengan akar dari luas bidang rongga). Maka untuk mendapatkan persentase rongga dalam campuran = Luas bidang rongga dibagi dengan luas gambar, dikalikan kedalaman lobang dan dikali 100 %. Untuk campuran AC-WC modifikasi didapat rongga (VIM) 19.2 μm^2/ 2034 μm^2 x 4.82 μm x 100 % = 4.14 %. Selanjutnya campuran AC-WC Pen 60/70 adalah 20.7 μm^2/ 1998 μm^2 x 4.82 μm x 100 % = 4.71 %, lebih besar nilai VIM Pen 60/70 sebanyak 0.57 % dibanding VIM campuran AC-WC modifikasi. Sedangkan pada uji Marshall selisih VIM =0,07 % lebih besar VIM Pen 60/70.

Hal ini sesuai dengan karakteristik campuran AC-WC modifikasi setelah uji Marshall, bahwa campuran AC-WC modifikasi lebih kecil nilai persentase VIM dibanding campuran AC-WC Pen 60/70.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.



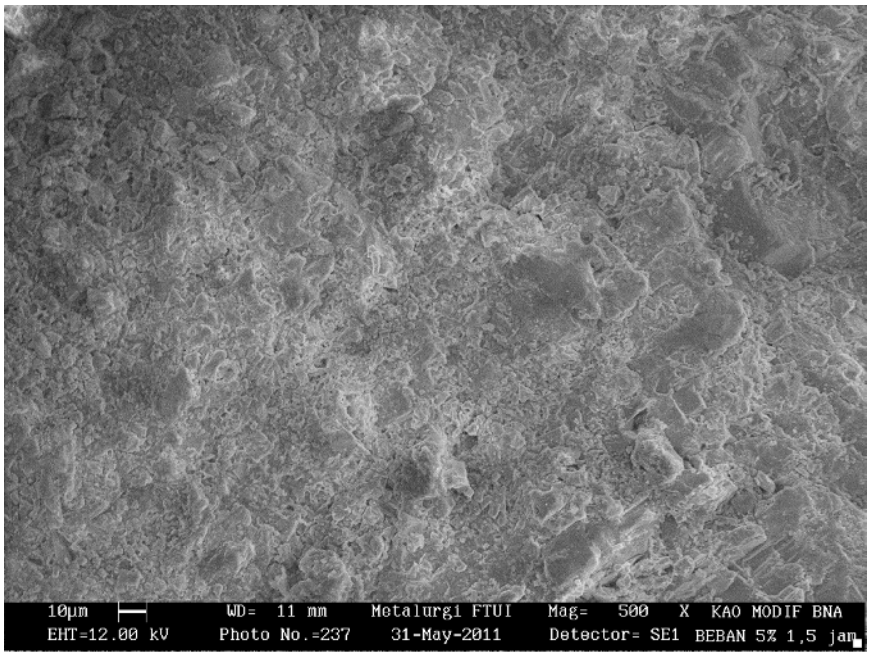
Gambar 4.33, Campuran AC-WC Modifikasi Skala 1000 : 1



Gambar 4.34 Campuran AC-WC PEN 60/70 Skala 1000 : 1

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Untuk benda uji campuran AC-WC modifikasi yang telah mengalami pembebanan seberat 5 % kali beban runtuh uji Marshal (75 kg) dalam kondisi terendam selama 90 menit ditampilkan pada Gambar 4.35, skala 500 :1 dan Gambar 4.36 dengan skala 1000 : 1 sebagai berikut :



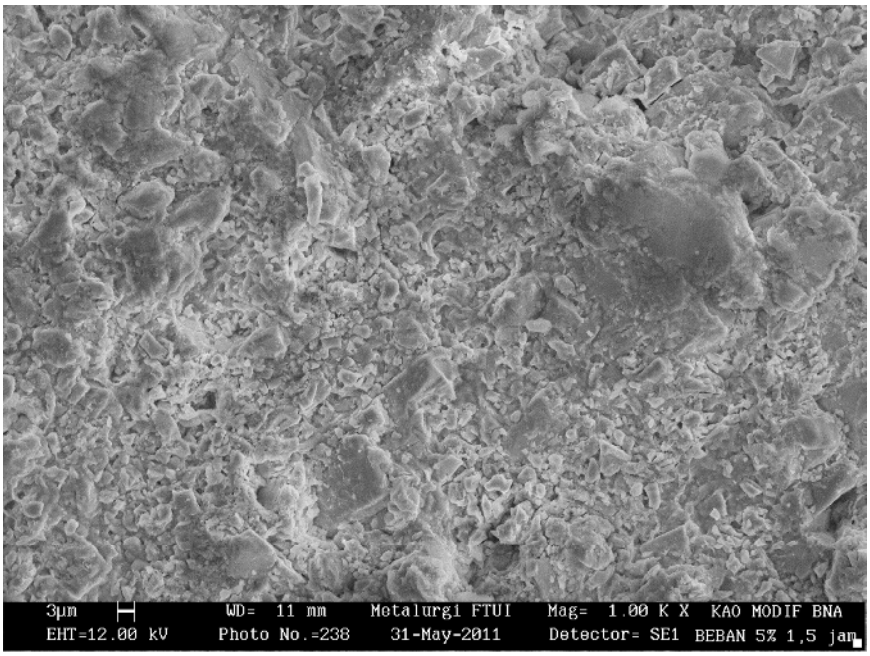
Gambar 4.35 Campuran AC-WC Modifikasi (Hasil Pengujian Marshall Modifikasi, Beban 5% Terendam 90 menit), Skala 500 : 1

Pengamatan pada Gambar 4.35 dengan skala 500 : 1, permukaan benda uji terlihat seperti tidak ada pengaruh beban kondisi terendam, susunan molekuler atau sebaran butir halus campuran terlihat rapat dan merata, rongga dalam campuran terlihat sedikit dibanding gambar yang lainya.

Diamati dari Gambar 4.36, dengan skala 1000 : 1, secara visual terlihat sebih jelas lagi susunan agregat halus dalam campuran, dimikian juga terlihat indikasi adanya rongga rongga kecil-kecil dan banyak dalam gambar benda uji. Selanjutnya dihitung rongga dengan metoda yang sama seperti pembahasan sebelumnya, maka didapat rongga sebesar 3.62 % dalam campuran AC-WC Modifikasi benda uji hasil pengujian Marshall Modifikasi beban 5% terendam 90 menit). Jika dibandingkan dengan persentase volume rongga campuran dalam kondisi KAO (seperti Gambar 4.31 dan 4.32) lebih kecil nilainya rongganya. Hal

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

ini bisa disebabkan campuran bertambah padat akibat pembebanan yang relativ lebih kecil (5%) dari beban maksimum, dengan demikan rongga yang semula 4.31 % dalam uji Marshall menjadi 3,62 %, lebih kecil 0.69 %.



Gambar 4.36 Campuran AC-WC Modifikasi (Hasil Pengujian Marshall Modifikasi Beban 5% Terendam 90 menit), Skala 1000 : 1

Sungguhpun rongga dalam campuran berkurang, proses pembebanan dalam kondisi terendam yang cukup lama (1.5 jam), melalui rongga kecil-kecil air tetap bisa masuk kedalam campuran, sehingga memberikan indikasi telah bereaksi merusak campuran, butiran agregat halus mulai ada yang terlepas dari ikatan aspal. Benda uji seperti ini sudah mulai rapuh, nilai stabilitas dan kekakuan sudah berkurang seperti yang didapat dalam pengujian Marshall dan Umata. Dengan demikian campuran AC-WC, akibat terendam dalam air dan pembebanan secara berulang berdampak pada karakteristik kinerja campuran.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beradasarkan hasil penelitian dan analisa data, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik dan sifat-sifat aspal Pen 60/70 terdapat perbedaan yang sangat signifikan dibanding dengan Bitumen Natural Asphalt (BNA), BNA difungsikan sebagai aditif aspal Pen 60/70, dengan komposisi aspal Pen 60/70 (75 %) + BNA (25 %), dapat dijadikan campuran AC-WC *Modified*.
2. Berdasarkan analisis Marshall campuran AC-WC Pen 60/70 dengan 6 seri kadar aspal didapat KA*OMR*. 5.9 % dan KAO yang dilengkapi dengan metoda kepadatan mutlak (KA*ORef*) = 5.65 %.
3. Hasil uji Marshall campuran AC-WC Pen 60/70 dan campuran AC-WC modifikasi terdapat perbedaan hasil, yaitu :
   - berat isi campuran AC-WC modifikasi lebih berat 0.002 t/m^3 dibanding campuran AC-WC Pen 60/70. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh berat jenis BNA lebih berat dibanding aspal Pen 60/70.
   - VIM Pen 60/70 lebih besar 0.07 % dari campuran AC-WC modifikasi
   - VMA Pen 60/70 lebih besar 0.061 % dari campuran AC-WC modifikasi
   - Stabilitas campuran AC-WC modifikasi lebih besar 11.35 % dibanding campuran AC-WC Pen 60/70. Perbedaan tersebut disebabkan sifat reologi yang terdapat dalam BNA.
   - Nilai kelelehan campuran AC-WC Pen 60/70 lebih tinggi 14.47 % dibanding campuran AC-WC Modifikasi. Kelelehan merupakan indikator terhadap kelenturan atau perubahan bentuk plastis. Campuran AC-WC Modifikasi lebih kaku dibanding campuran AC-WC Pen 60/70. Campuran yang mempunyai nilai kelelehan relatif rendah pada Kadar Aspal Optimum, memiliki daya tahan deformasi yang lebih baik. Nilai kelelehan yang rendah bila dikombinasikan dengan stabilitas yang tinggi, menunjukan suatu campuran yang lebih kaku.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

- Marshall Quotient campuran AC-WC modifikasi lebih besar dibandingkan nilai MQ campuran AC-WC Pen 60/70 sebasar 9.15%. Semakin tinggi nilai MQ, semakin rentan terhadap keretakan, sebaliknya semakin rendah nilai MQ kelelehan plastis semakin tinggi dan stabilitas dinamis lebih rendah.

4. Berdasarkan uji perendaman Marshall (*Marshall Immersion*) diperoleh Indek Kekuatan Sisa (IKS) campuran AC-WC Pen 60/70 sebesar (80.27%) dan campuran AC-WC modifikasi sebesar (82.98%). Hal ini menunjukan bahwa campuran AC-WC dengan menggunakan aspal Pen 60/70 (75%) + BNA (25%) mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap pengaruh air dan temperatur dibandingkan dengan campuran AC-WC 60/70. Kehilangan nilai stabilitas Marshall setelah rendaman, dinilai sebagai kerusakan perkerasan akibat pengaruh air dan temperatur.
5. Hasil pengujian Mashall Modifikasi menunjukan pengaruh beban awal dan air cukup tinggi penurunan stabilitasnya terhadap kedua jenis campuran, nilai stabilitas campuran AC-WC modifikasi lebih tinggi dari campuran AC-WC Pen 60/70, sebaliknya nilai deformasi campuran AC-WC Pen 60/70 yang lebih tinggi. Tingginya deformasi merupakan karakteristik rendahnya nilai stabilitas campuran
6. Hasil Pengujian Umata :
   - Modulus resilen (*MR*) campuran AC-WC modifikasi lebih tinggi dari campuran AC-WC Pen 60/70 (benda uji hasil pengujian Mashall Modifikasi). Untuk beban (750 N) dengan variasi rentang waktu 0.5 jam, sampai 1.5 jam, rata-rata selisihnya 8,08 %, untuk beban 1500 N = 6.55 % dan beban 2250 N = 6.91 %, sedangkan untuk beban standar pengujian Umata (3000 N) yaitu benda uji yang tidak mengalami pembebanan dalam rendaman uji Marshall modifikasi, perbedaan *MR* sangat signifikan, yaitu 32.59 % lebih tinggi *MR* campuran AC-WC modifikasi.
   - Selisi *MR* pada beban yang sama (3000 N) memberikan pengaruh terhadap lama proses perendaman. Namun dari kedua jenis campuran masih tinggi *MR* campuran AC-WC modifikasi. Selisih *MR* pada rendaman 30 menit = 7.18 %, waktu 60 menit selisihnya = 6.41 % dan waktu 90 menit = 6.16 %.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

- Nilai regangan campuran AC-WC Pen 60/70 = 78.95 μ□**,** campuran AC-WC modifikasi 58.60 μ□, berarti campuran AC-WC modifikasi lebih kaku dibanding campuran AC-WC Pen 60/70, selisih kekakuan 25.77%

7. Pengujian deformasi permanen dengan alat Wheel Tracking pada temperatur 60 ºC, didapat nilai Stabilitas Dinamis (*DS*) campuran AC-WC modifikasi = 2625 lintasan/mm, lebih besar 14.29 % dari *DS* campuran AC-WC Pen 60/70 = 2250 lintasan/mm. Sebaliknya Laju Deformasi (*RD*) = 0.0160 mm/menit lebih kecil dari *RD* = 0.0187 mm/menit) atau 14.44 % lebih kecil dari laju deformasi campuran aspal yang menggunakan aspal Pen 60/70.
8. Hasil Pengujian dengan Wheel Tracking ini sesuai dengan hasil pengujian Umata dimana campuran AC-WC modifikasi mempunyai nilai kekakuan yang lebih besar. Demikan juga dengan pengujian Marshall Modifikasi, maupun Marshall standar. Pada pengujian Marshal standar memiliki *Marshall Quotient* dan Indek Kekuatan Sisa lebih tinggi. Berarti campuran AC-WC modifikasi memiliki ketahanan terhadap deformasi permanen yang lebih baik dibanding campuran AC-WC Pen 60/70.
9. Visualisasi Mikro Campuran Aspal Beton
    - Analisis gambar SEM secara visual terlihat adanya alur atau retakan serta rongga yang cukup besar (± 120 μm) pada bagian tengah (inti) benda uji, selain pada bagian inti disisi lain juga banyak terlihat retakan kecil atau terlepasnya ikatan aspal terhadap agregat satu sama lainnya.
    - Untuk campuran AC-WC modifikasi didapat rongga (VIM) = 4.14 %. Selanjutnya campuran Pen 60/70 = 4.71 %, lebih besar nilai VIM campuran AC-WC Pen 60/70 sebasar 0.57 % dibanding VIM campuran AC-WC modifikasi.
    - Hasil Pengujian Marshall Modifikasi Beban 5%, terlihat rongga dalam campuran berkurang 0.69 %. Hal ini terjadi karena beban yang diberikan relatif kecil sehingga campuran bertambah padat dan mengurangi rongga dalam campuran. Seiring dengan lamanya waktu perendaman, air tetap masuk kedalam campuran, lalu melemahkan ikatan aspal dalam campuran, dan campuran menjadi rapuh, sehingga nilai stabilitas dan kekakuan berkurang seperti yang didapat dalam pengujian Marshall dan Umata.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Dengan demikian perkerasan lentur yang mengalami repetisi beban lalu lintas dalam kondisi terendam air berdampak pada karakterik kinerja campuran.

10. Setelah dilakukan kajian terhadap semua pengujian dan penelitian, secara umum kostribusi BNA mempengaruhi karakteristik kinerja campuran AC-WC modifikasi yang memiliki; stabilitas, kekakuan (modulus resilien), dan ketahanan terhadap air, lebih tinggi dibanding campuran AC-WC Pen 60/70.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, diusulkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian kelelahan (*fatigue*) yang lebih pendek, dan sifat ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) dari campuran AC-WC modifikasi.
2. Pengujian untuk mengetahui kondisi penuaan (*Aging*) *BNA BLEND* dalam masa pelayanan jangka panjang dengan alat uji *Pressure Aging Vessel* (PAV)
3. Untuk mendapatkan gradasi yang terbaik perlu dilakukan pengujian variasi gradasi yang berbeda (dibawah kurva fuller, memotong kurva fuller), dengan menggunakan *BNA BLEND*.
4. Perlu dikaji dan diteliti pengaruh Evolusi selisih Deformasi sepanjang lintasan pda pengujian Wheel Tracking.

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

DAFTAR REFERENSI

AASTHO (1998), *Standart Spesifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Washington DC, 52-204

Agus Taufik Mulyono, (2007), *Model Monitoring dan Evaluasi Pemberlakuann Standar Mutu Pekerasan Jalan Berbasis Pendekatan Sistemik*, Desertai Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.

Bambang Sugeng, S, 2002, *Evaluasi Kenerja Struktural perkerasan Campuran Aspal Beton*, Laporan Akhir Hibah Bersaing IX/2. Institute Teknologi Bandung.

Barosi, Athur P., Schmidt, Richard J. (2003), *Advanced Mechanics of Materials*, 6th Edition, Jonh Wiley & Sons, Inc. Hoboken.

Departemen Pekerjaan Umum, (2008), Devisi 6 *Perkerasan Beraspal*, Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan.

Departemen Pemukimana dan Prasarana Wilayah (2002), *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*, Buku 1 Petunjuk Umum, , Dirjen. Prasarana Wilayah.

Departemen Pekerjaan Umum, (1999), *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Pendekatan Kepdatan Mutlak*, No. 025/T/BM/1999, Direktorat Jenderal Bina Marga.

Farida P dan Tamin R, *Pengujian Retak Mikro dengan alat SEM: Inisiasi dan propagasi serta pengaruh pada kekuatan beton*. *(Laporan penelitian, no. 15115095)*,

Fikri Afzal (2010), *Perbandingan Modulus Resilien dan Stabilitas Dinamis dari Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) yang menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer Cariphalte*, Program Magiister Sistem dan Teknik Jalan Raya (STJR), Institut Teknologi Bandung

Hanafi, L, (2010), *Kajian Deformasi Permanen dan Modulus Resilien Campuran Beton Aspal Lapis Pengikat (AC-BC) memakai Buton Granular Asphalt (BGA) Lawele*, Program Magiister Sistem dan Teknik Jalan Raya (STJR), Institut Teknologi Bandung

Harry Fitriadi, (2006), *Evaluasi Modulus Kekakuan dari Campuran Lataston Lapis Aus (HRS-WC) Memakai Asbuton Lawele*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya (STJR), Institut Teknologi Bandung

Kontribusi Buton...,Husnul Fikri,FTUI,2011.

Heddy R. Agah, Ayomi Dita Rarasati, (2010), *Pemeliharaan dan Perbaikan Jalan Konstruksi Lentur*, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, PT. Media Tama Sapta Karya

Howardi, Latif Budi S, Jurnal (2008), *Perancangan laboratorium Campuran HRS-WC dengan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) sebagai Bahan Aditif*, Forum Teknik Sipil XVIII-3

Huang, Yang. H., (1993), *Pevement Analysis and Design*, 2nd Edition, Prentice-Hall, Inc, New Jersey

Kemal Nesnas and Mike Nunn, *Journal, Modeling the Time Modelling Dependent Behavior of Asphalt and Pavement Permanent Deformation Under a Rolleing Wheel*

PT. Aston Adhi Jaya, (2010), *Buton Natural Asphalt*

Qing Lu (2005), *Investigation of Conditions for Moisture Damage in Asphalt Concrete and Appropriate Laboratory Test Methods*, University of California, Berkeley

Shell Bitumen (2003), *The Shell Bitumen Handbook*, Published By Shell Bitumen U.K

Standar Nasional Indonesia, SNI. (2003), *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*, RSNI M-01-2003, Badan Standar Nasional Indonesia.

Sukirman, S. (2007), *Beton Aspal Campuran Panas*, Edisi ke 2, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.

The Aspalt Institue, (1983), *Principle of Conctruction of Hot Mix Aspalt Pavement*, Manual Series No.22.

The Aspalt Institue, (1993), *Mix Design Methods for Aspalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series No.2 Sixth Edition, The Asphalt Institute, 1-78.

WS, Tjitjik, (2008), *Faktor-Faktor Penyebab Kerusakan Dini*, Jurnal, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.

LAMPIRAN A

PENGUJIAN MARSHALL DAN ANALISA MENENTUKAN KAO ASPAL PEN 60/70

Keterangan :
Aspal : Pen 60/70, Cevron ex. Singapura
Agregat : Ex. Rumpin-Bogor

Dikerjakan : Husnul Fikri & Saptoyo Aji
Dihitung : Husnul Fikri & Saptoyo Aji
Diperiksa :

Kalibrasi prov. Ring 23,101 LAB TEKNIK SIPIL FT. UI

Nomor Contoh	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q
		4,5	1116,30	1128,50	628,90	499,6	2,234	2,455	18,708	8,98	52,00	58,00	1339,9	1363,3	3,08	442,6	4,30
1		4,5	1114,00	1126,00	628,00	498,0	2,237	2,455	18,615	8,88	52,32	60,00	1386,1	1386,1	3,15	440,0	4,30
		4,5	1116,10	1125,10	629,40	495,7	2,252	2,455	18,083	8,28	54,21	59,00	1363,0	1417,5	2,85	497,4	4,30
Rata-Rata		***4,50***					***2,241***	*2,455*	***18,469***	***8,71***	***52,83***		***1363,0***	***1388,9***	***3,03***	***460,0***	***4,30***
		5,0	1121,70	1132,80	636,90	495,9	2,262	2,437	18,137	7,19	60,33	62,00	1432,3	1460,9	3,27	446,8	4,82
1		5,0	1120,50	1133,50	637,50	496,0	2,259	2,437	18,241	7,31	59,91	59,00	1363,0	1403,8	3,28	428,0	4,82
		5,0	1119,70	1130,50	640,40	490,1	2,285	2,437	17,315	6,26	63,83	61,00	1409,2	1437,3	3,16	454,9	4,82
Rata-Rata		***5,00***					***2,269***	*2,437*	***17,897***	***6,92***	***61,32***			***1434,0***	***3,24***	***443,2***	***4,82***
		5,5	1126,60	1135,90	643,80	492,1	2,289	2,420	17,580	5,40	69,30	63,00	1455,4	1466,3	3,36	436,4	5,34
1		5,5	1128,00	1137,00	644,00	493,0	2,288	2,420	17,628	5,45	69,07	62,40	1441,5	1499,2	3,30	454,3	5,34
		5,5	1124,70	1137,00	642,90	494,1	2,276	2,420	18,052	5,94	67,10	64,00	1478,5	1493,2	3,29	453,9	5,34
Rata-Rata		***5,50***					***2,285***	*2,420*	***17,753***	***5,60***	***68,47***			***1486,2***	***3,32***	***448,2***	***5,34***
		6,0	1132,00	1137,00	642,90	494,1	2,291	2,403	17,957	4,66	74,06	63,90	1476,2	1505,7	3,48	432,7	5,85
1		6,0	1134,00	1139,00	647,00	492,0	2,305	2,403	17,461	4,08	76,63	64,80	1496,9	1556,8	3,45	451,3	5,85
		6,0	1133,40	1138,20	646,60	491,6	2,306	2,403	17,437	4,05	76,75	63,20	1460,0	1474,6	3,42	431,2	5,85
Rata-Rata		***6,00***					***2,300***	*2,403*	***17,618***	***4,26***	***75,80***			***1512,4***	***3,45***	***438,4***	***5,85***
		6,5	1138,00	1140,50	650,30	490,2	2,322	2,386	17,308	2,71	84,35	62,40	1441,5	1484,7	3,90	380,7	6,36
1		6,5	1139,50	1145,00	653,50	491,5	2,318	2,386	17,418	2,84	83,71	61,00	1409,2	1465,5	3,68	398,2	6,36
		6,5	1143,50	1146,00	650,00	496,0	2,305	2,386	17,880	3,38	81,09	61,75	1426,5	1469,3	3,55	413,9	6,36
Rata-Rata		***6,50***					***2,315***	*2,386*	***17,535***	***2,98***	***83,03***			***1473,2***	***3,71***	***397,6***	***6,36***
		7,0	1143,00	1146,00	652,00	494,0	2,314	2,370	18,024	2,35	86,94	60,50	1397,6	1438,9	3,85	373,7	6,87
1		7,0	1142,00	1148,00	653,00	495,0	2,307	2,370	18,261	2,64	85,56	59,00	1363,0	1363,0	4,20	324,5	6,87
		7,0	1139,50	1144,50	650,50	494,0	2,307	2,370	18,275	2,65	85,48	62,00	1432,3	1432,3	3,90	367,3	6,87
Rata-Rata		***7,00***					***2,309***	*2,370*	***18,187***	***2,55***	***85,99***			***1411,4***	***3,98***	***355,2***	***6,87***

bj. aspal :	1,034	bj.bulk agr	2,567	bj.app. agr:	2,728	Gmm :	*2,420*	bj.eff.agr :	2,625	absp.aspal :	0,888	Pb:	5,5

Keterangan :
a = % aspal terhadap batuan.
b = % aspal terhadap campuran.
c = Berat contoh kering (gr).
d = Berat contoh dalam keadaan jenuh (gr).
e = Berat contoh dalam air (gr).
f = Isi contoh (d - e).
g = Berat isi (c / f)

* GMM ditentukan dengan cara AASHTO T - 209
pada kadar aspal optimum perkiraan=
Pb = 0.035(%CA) + 0.045(%FA) + 0.18(%FF) + K
K = 0.5 - 1 untuk laston , 2.0 - 3.0 untuk lataston

** BJ. Eff Agr $= \dfrac{(100-Pb)}{(100/Gmm)-(Pb/BJ.aspal)}$

h = BJ. Maksimum campuran (teoritis)$= \dfrac{100}{\frac{\%\text{ agregat}}{\text{bj.eff.agregat}} + \frac{\%\text{ aspal}}{\text{bj.aspal}}}$

i = % Rongga diantara agregat (VMA)$= 100 - \dfrac{(100-b)\,g}{\text{BJ. bulk agregat}}$

*** Absorpsi aspal terhadap total agregat$= 100 \times \dfrac{\text{Bj.eff - Bj.bulk}}{\text{Bj.eff x Bj.bulk}} \times \text{Bj. aspal}$

j = Persen rongga terhadap campuran (ViM)= 100 - (100g/h)
k = Persen rongga terisi aspal (VFB)= 100 (i-j) /i
l = Pembacaan arloji stabilitas
m = Stabilitas (l x kalibrasi proving ring),(kg)
n = Stabilitas (m x koreksi benda uji), (kg)
o = kelelehan (mm)
p = Hasil bagi marshall (MQ) (kg/mm)
q = Kadar aspal eff. (%)
b-((Abs.aspal/100)*(100-b))

LAMPIRAN B

DATA PENGUJIAN LASTON AC-WC PEN 60/70, METODA KEPADATAN MUTLAK

Aspal : **Pen 60/70, Cevron ex. Singapura**
Agregat : **Ex. Rumpin-Bogor**
Keterangan : **400 X 2 TUMBUKAN**

Dikerjakan : **Husnul Fikri & Saptoyo Aji**
Dihitung :
Diperiksa :

Nomor Contoh	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q
1																	
2		5	2564,50	2575,00	1457,00	1118,0	2,294										
3																	
Rata-Rata		*5,00*					***2,294***	*2,437*	***15,110***	*5,89*	***61,04***						
1																	
2		5,50	2572,60	2579,00	1478,50	1100,5	2,338										
3																	
Rata-Rata		*5,50*					***2,338***	*2,420*	***13,943***	*3,40*	***75,60***						
1																	
2		6	2581,00	2595,50	1496,00	1099,5	2,347										
3																	
Rata-Rata		*6,00*					***2,347***	*2,403*	***14,040***	*2,31*	***83,55***						
1																	
2																	
3																	
Rata-Rata																	

bj. aspal :	1,034	bj.bulk agr	2,567	bj.app. agr:	2,728	Gmm :	2,420	bj.eff.agr :	2,625	absp.aspal	0,888	Pb:	5,5

Keterangan :
a = % aspal terhadap batuan.
b = % aspal terhadap campuran.
c = Berat contoh kering (gr).
d = Berat contoh dalam keadaan jenuh (gr).
e = Berat contoh dalam air (gr).
f = Isi contoh (d - e).
g = Berat isi (c / f)

* GMM ditentukan dengan cara AASHTO T - 209 pada kadar aspal optimum perkiraan=

$$Pb = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18(\%FF) + K$$

K = 0.5 - 1 untuk laston , 2.0 - 3.0 untuk lataston

** BJ. Eff Agr $= \dfrac{(100-Pb)}{(100/Gmm)-(Pb/BJ.aspal)}$

h = BJ. Maksimum campuran (teoritis)$= \dfrac{100}{\frac{\%\ agregat}{bj.eff.agregat} + \frac{\%\ aspal}{bj.aspal}}$

i = % Rongga diantara agregat (VMA)$= 100 - \dfrac{(100-b)\,g}{BJ.\ bulk\ agregat}$

j = Persen rongga terhadap campuran (ViM)= 100 - (100g/h)
k = Persen rongga terisi aspal (VFB)= 100 (i-j) /i
l = Pembacaan arloji stabilitas
m = Stabilitas (l x kalibrasi proving ring),(kg)
n = Stabilitas (m x koreksi benda uji), (kg)
o = kelelehan (mm)
p = Hasil bagi marshall (MQ) (kg/mm)

*** Absorpsi aspal terhadap total agregat$= 100 \times \dfrac{Bj.eff - Bj.bulk}{Bj.eff \times Bj.bulk} \times Bj.\ aspal$

q = Kadar aspal eff. (%)
b-((Abs.aspal/100)*(100-b))

LAMPIRAN C1

PENGUJIAN MARSHALL (ASPAL PEN 60/70 & MODIF BNA, KAO 5.9)

SPESIFIKASI DEP. PU. PERENCANAAN PENDEKATAN KEPADATAN MUTLAK TH. 1999

Aspal : Cevron ex. Singapura
Agregat : Ex. Rumpin-Bogor
Keterangan : KAO Marshall (5.9 %)
Kalibrasi prov. Ring 23,101 LAB TEKNIK SIPIL FT. UI

Dikerjakan : Husnul Fikri & Saptoyo Aji
Dihitung : Husnul Fikri & Saptoyo Aji
Diperiksa :

Nomor Contoh	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	
1/PR		5,9	1141,00	1147,00	649,00	498,0	2,291					65,00	1501,57	1486,55	4,40	337,85	5,81	PEN 60/70
4/PR		5,9	1140,50	1145,00	651,00	494,0	2,309					63,50	1466,91	1481,58	4,60	322,08	5,81	
6/PR		5,9	1136,50	1142,00	648,50	493,5	2,303					66,50	1536,22	1520,85	4,30	353,69	5,81	
Rata-Rata		*5,90*					*2,301*	*2,406*	*17,514*	*4,38*	*74,99*			*1496,33*	*4,43*	*337,87*	*5,81*	
4/BR		5,9	1140,00	1145,50	647,00	498,5	2,287					73,50	1697,92	1697,92	3,80	446,82	5,81	MODIF.BNA
5/BR		5,9	1142,50	1144,00	651,00	493,0	2,317					71,00	1640,17	1656,57	3,70	447,72	5,81	
7/BR		5,9	1138,00	1143,00	649,00	494,0	2,304					74,00	1709,47	1709,47	4,10	416,94	5,81	
Rata-Rata		*5,90*					*2,303*	*2,406*	*17,453*	*4,31*	*75,31*			*1687,99*	*3,87*	*437,16*	*5,81*	

LAMPIRAN C2

PENGUJIAN MARSHALL *IMMERTION* (ASPAL PEN 60/70 & MODIF BNA, KAO 5.9)

17/pim		5,9										51,00	1178,15	1189,93	3,50	339,98	5,81	PEN 60/70
2/pim		5,9										49,00	1131,95	1165,91	3,10	376,10	5,81	
3/pim		5,9										54,00	1247,45	1247,45	3,30	378,02	5,81	
Rata-Rata		*5,90*												*1201,10*	*3,30*	*364,70*	*5,81*	
1/Bim		5,9										63,00	1455,36	1469,92	3,70	397,27	5,81	MODIF BNA
2/Bim		5,9										59,00	1362,96	1403,85	4,10	342,40	5,81	
3/Bim		5,9										57,50	1328,31	1328,31	3,40	390,68	5,81	
Rata-Rata		*5,90*												*1400,69*	*3,73*	*376,79*	*5,81*	

bj. aspal :	1,034	bj.bulk agr	2,590	bj.app. agr:	2,720	Gmm :	2,420	bj.eff.agr :	2,625	absp.aspal :	0,531	Pb:	5,5

Keterangan :
a = % aspal terhadap batuan.
b = % aspal terhadap campuran.
c = Berat contoh kering (gr).
d = Berat contoh dalam keadaan jenuh (gr).
e = Berat contoh dalam air (gr).
f = Isi contoh (d - e).
g = Berat isi (c / f)

* GMM ditentukan dengan cara AASHTO T - 209
pada kadar aspal optimum perkiraan=
Pb = 0.035(%CA) + 0.045(%FA) + 0.18(%FF) + K
K = 0.5 - 1 untuk laston , 2.0 - 3.0 untuk lataston

** BJ. Eff Agr = $\frac{(100-Pb)}{(100/Gmm)-(Pb/BJ.aspal)}$

h = BJ. Maksimum campuran (teoritis)= $\frac{100}{\frac{\%\ agregat}{bj.eff.agregai} + \frac{\%\ aspal}{bj.aspal}}$

i = % Rongga diantara agregat (VMA)= $100 - \frac{(100-b)\,g}{BJ.\ bulk\ agregat}$

j = Persen rongga terhadap campuran (ViM)= 100 - (100g/h).
k = Persen rongga terisi aspal (VFB)= 100 (i-j) /i
l = Pembacaan arloji stabilitas
m = Stabilitas (l x kalibrasi proving ring),(kg)
n = Stabilitas (m x koreksi benda uji), (kg)
o = kelelehan (mm)
p = Hasil bagi marshall (MQ) (kg/mm)

*** Absorpsi aspal terhadap total agregat= $100 \times \frac{Bj.eff - Bj.bulk}{Bj.eff \times Bj.bulk} \times Bj.\ aspal$

q = Kadar aspal eff. (%)
b-((Abs.aspal/100)*(100-b))

LAMPIRAN : D-1 (30 MENIT)

CAMPURAN	PEN 60/70									MODIFIKASI PEN 60/70 & BNA								
Beban Awal	75 Kg			150 Kg			225 Kg			75 Kg			150 Kg			225 Kg		
No. Benda Uji	20			21			22			10/B			19/B			13/B		
Menit Ke	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)
0		0	75		0	150		0	225		0	75		0	150		0	225
1	75	0,23	40,47	150,00	0,54	90,47	225,00	0,72	142,86	75,00	0,21	47,62	150,00	0,51	114,28	225,00	0,66	154,76
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
2	75	0,27	53,57	150,00	0,58	116,66	225,00	0,78	163,90	75,00	0,25	58,33	150,00	0,56	124,19	225,00	0,76	183,33
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
3	75	0,28	66,66	150,00	0,61	127,38	225,00	0,82	174,43	75,00	0,26	64,28	150,00	0,59	135,47	225,00	0,79	191,42
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
4	75	0,29	67,62	150,00	0,63	133,33	225,00	0,85	181,19	75,00	0,27	66,66	150,00	0,61	139,85	225,00	0,83	198,95
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
5	75	0,30	68,33	150,00	0,64	135,71	225,00	0,86	189,71	75,00	0,28	69,05	150,00	0,62	143,04	225,00	0,84	207,28
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
6	75	0,31	69,28	150,00	0,64	137,38	225,00	0,87	198,86	75,00	0,28	70,24	150,00	0,63	144,04	225,00	0,85	214,85
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
7	75	0,31	70,47	150,00	0,65	139,28	225,00	0,89	205,00	75,00	0,29	71,43	150,00	0,63	145,23	225,00	0,87	216,95
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
8	75	0,32	70,95	150,00	0,65	139,28	225,00	0,90	208,33	75,00	0,29	72,62	150,00	0,64	145,23	225,00	0,88	218,04
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
9	75	0,33	71,43	150,00	0,66	139,52	225,00	0,91	211,90	75,00	0,30	72,62	150,00	0,64	145,23	225,00	0,88	219,04
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
10	75	0,33	71,43	150,00	0,66	139,52	225,00	0,91	214,28	75,00	0,30	72,62	150,00	0,64	145,23	225,00	0,89	220,23
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
11	75	0,34	72,62	150,00	0,67	140,00	225,00	0,92	214,28	75,00	0,30	73,81	150,00	0,64	145,23	225,00	0,89	220,23
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
12	75	0,34	72,62	150,00	0,67	140,00	225,00	0,93	215,47	75,00	0,31	73,81	150,00	0,64	146,42	225,00	0,89	220,23
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
13	75	0,35	72,62	150,00	0,67	140,47	225,00	0,93	215,47	75,00	0,31	73,81	150,00	0,65	146,42	225,00	0,90	220,23
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
14	75	0,35	73,81	150,00	0,68	140,47	225,00	0,94	216,66	75,00	0,32	73,81	150,00	0,66	146,42	225,00	0,90	220,23
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
15	75	0,35	73,81	150,00	0,68	141,42	225,00	0,94	216,66	75,00	0,32	73,81	150,00	0,66	146,42	225,00	0,90	221,42
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
16	75	0,35	73,81	150,00	0,68	141,42	225,00	0,94	217,85	75,00	0,33	73,81	150,00	0,66	147,61	225,00	0,90	221,42
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
17	75	0,35	73,81	150,00	0,69	144,04	225,00	0,95	217,85	75,00	0,33	73,81	150,00	0,66	147,61	225,00	0,91	222,61
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
18	75	0,35	75,00	150,00	0,69	144,04	225,00	0,95	217,85	75,00	0,34	73,81	150,00	0,67	147,61	225,00	0,91	222,61

	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
19	75	0,36	73,81	150,00	0,69	145,23	225,00	0,95	219,05	75,00	0,34	75,00	150,00	0,67	147,61	225,00	0,92	222,61
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
20	75	0,36	75,00	150,00	0,69	145,23	225,00	0,95	219,05	75,00	0,34	73,81	150,00	0,67	147,61	225,00	0,92	222,61
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
21	75	0,36	75,00	150,00	0,70	146,42	225,00	0,96	220,24	75,00	0,34	75,00	150,00	0,67	148,81	225,00	0,92	222,61
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
22	75	0,36	75,00	150,00	0,70	146,42	225,00	0,96	220,24	75,00	0,34	75,00	150,00	0,67	148,81	225,00	0,93	223,80
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
23	75	0,36	73,81	150,00	0,70	146,42	225,00	0,96	220,24	75,00	0,34	75,00	150,00	0,67	148,81	225,00	0,93	223,80
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
24	75	0,36	73,81	150,00	0,70	146,42	225,00	0,97	221,43	75,00	0,34	73,81	150,00	0,68	148,81	225,00	0,94	223,80
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
25	75	0,36	75,00	150,00	0,70	147,61	225,00	0,97	221,43	75,00	0,34	75,00	150,00	0,68	150,00	225,00	0,94	223,80
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
26	75	0,37	75,00	150,00	0,70	147,61	225,00	0,97	222,62	75,00	0,34	75,00	150,00	0,68	150,00	225,00	0,94	224,99
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
27	75	0,37	75,00	150,00	0,70	148,81	225,00	0,98	222,62	75,00	0,34	75,00	150,00	0,69	150,00	225,00	0,94	223,80
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
28	75	0,37	73,81	150,00	0,70	148,81	225,00	0,98	222,62	75,00	0,34	75,00	150,00	0,69	150,00	225,00	0,95	224,99
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
29	75	0,37	75,00	150,00	0,70	150,00	225,00	0,99	223,81	75,00	0,34	75,00	150,00	0,69	148,81	225,00	0,95	224,99
	75		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
30	75	0,37	75,00	150,00	0,70	150,00	225,00	0,99	223,81	75,00	0,34	75,00	150,00	0,69	150,00	225,00	0,95	223,80

LAMPIRAN : D-2

CAMPURAN	PEN 60/70									MODIFIKASI PEN 60/70 & BNA								
Beban Awal	75 Kg			150 Kg			225 Kg			75 Kg			150 Kg			225 Kg		
No. Benda Uji	16			23			19			16/B			4/B			17/B		
Menit Ke	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)
0		0	75		0	150		0	225		0	75		0	150		0	225
1	75,00	0,24	48,81	150,00	0,510	90,47	225,00	0,71	151,19	75,00	0,22	51,19	150,00	0,500	101,19	225,00	0,67	152,38
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
2	75,00	0,26	55,95	150,00	0,580	111,90	225,00	0,78	166,66	75,00	0,24	61,90	150,00	0,575	119,04	225,00	0,73	183,71
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
3	75,00	0,27	64,28	150,00	0,620	126,19	225,00	0,81	180,95	75,00	0,26	67,14	150,00	0,610	130,95	225,00	0,77	196,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
4	75,00	0,28	67,14	150,00	0,640	133,33	225,00	0,84	190,47	75,00	0,27	69,05	150,00	0,630	135,71	225,00	0,79	210,90
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
5	75,00	0,30	68,33	150,00	0,655	134,52	225,00	0,86	200,00	75,00	0,28	70,71	150,00	0,648	138,09	225,00	0,80	214,28
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
6	75,00	0,30	69,76	150,00	0,670	135,71	225,00	0,87	204,76	75,00	0,29	71,43	150,00	0,656	142,85	225,00	0,81	215,47
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
7	75,00	0,31	70,24	150,00	0,680	135,71	225,00	0,87	210,71	75,00	0,30	71,90	150,00	0,662	142,85	225,00	0,81	215,47
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
8	75,00	0,32	70,71	150,00	0,688	136,90	225,00	0,88	213,09	75,00	0,30	72,85	150,00	0,670	142,85	225,00	0,82	216,66
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
9	75,00	0,33	71,43	150,00	0,698	136,90	225,00	0,89	213,09	75,00	0,31	73,09	150,00	0,678	144,04	225,00	0,83	217,85
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
10	75,00	0,33	71,66	150,00	0,701	136,90	225,00	0,89	216,66	75,00	0,32	73,09	150,00	0,680	145,23	225,00	0,83	219,05
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
11	75,00	0,35	71,90	150,00	0,703	136,90	225,00	0,90	216,66	75,00	0,32	73,33	150,00	0,685	145,23	225,00	0,84	219,05
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
12	75,00	0,35	71,90	150,00	0,704	138,09	225,00	0,90	216,66	75,00	0,33	73,33	150,00	0,690	145,23	225,00	0,84	219,05
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
13	75,00	0,36	72,14	150,00	0,704	138,09	225,00	0,90	217,85	75,00	0,33	73,33	150,00	0,694	145,23	225,00	0,84	220,24
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
14	75,00	0,36	72,14	150,00	0,706	138,09	225,00	0,90	217,85	75,00	0,34	73,81	150,00	0,696	147,61	225,00	0,84	220,24
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
15	75,00	0,37	72,14	150,00	0,706	139,28	225,00	0,91	217,85	75,00	0,34	73,81	150,00	0,697	147,61	225,00	0,85	220,24
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
16	75,00	0,37	72,62	150,00	0,706	140,47	225,00	0,91	217,85	75,00	0,34	73,81	150,00	0,699	147,61	225,00	0,85	220,24
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
17	75,00	0,37	72,62	150,00	0,707	140,47	225,00	0,92	217,85	75,00	0,34	73,81	150,00	0,701	147,61	225,00	0,85	220,24
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
18	75,00	0,37	72,62	150,00	0,710	142,85	225,00	0,92	219,05	75,00	0,35	73,81	150,00	0,701	147,61	225,00	0,85	220,24
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
19	75,00	0,38	72,62	150,00	0,710	144,04	225,00	0,92	219,05	75,00	0,35	73,81	150,00	0,703	148,81	225,00	0,86	221,43

	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
20	75,00	0,38	72,62	150,00	0,715	144,04	225,00	0,93	219,05	75,00	0,35	73,81	150,00	0,703	148,81	225,00	0,86	221,43
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
21	75,00	0,38	73,09	150,00	0,715	144,23	225,00	0,94	219,05	75,00	0,35	73,81	150,00	0,703	148,81	225,00	0,86	221,43
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
22	75,00	0,38	73,09	150,00	0,715	144,23	225,00	0,94	219,05	75,00	0,36	73,81	150,00	0,705	148,81	225,00	0,87	221,43
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
23	75,00	0,39	73,09	150,00	0,717	146,42	225,00	0,94	219,05	75,00	0,36	74,28	150,00	0,705	148,81	225,00	0,87	221,43
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
24	75,00	0,39	73,09	150,00	0,717	146,42	225,00	0,95	220,24	75,00	0,36	74,28	150,00	0,705	148,81	225,00	0,87	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
25	75,00	0,39	73,09	150,00	0,717	146,42	225,00	0,95	220,24	75,00	0,37	74,28	150,00	0,705	148,81	225,00	0,87	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
26	75,00	0,40	73,09	150,00	0,720	147,61	225,00	0,95	220,24	75,00	0,37	74,28	150,00	0,706	148,81	225,00	0,87	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
27	75,00	0,40	73,81	150,00	0,720	147,61	225,00	0,96	220,24	75,00	0,37	74,28	150,00	0,706	148,81	225,00	0,88	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
28	75,00	0,40	73,81	150,00	0,720	147,61	225,00	0,96	221,43	75,00	0,37	74,28	150,00	0,706	150,00	225,00	0,88	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
29	75,00	0,40	75,00	150,00	0,720	148,81	225,00	0,97	221,43	75,00	0,38	74,28	150,00	0,706	150,00	225,00	0,88	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
30	75,00	0,40	73,81	150,00	0,720	148,81	225,00	0,97	221,43	75,00	0,38	74,28	150,00	0,706	148,81	225,00	0,89	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
31	75,00	0,41	75,00	150,00	0,720	148,81	225,00	0,97	221,43	75,00	0,38	74,28	150,00	0,708	150,00	225,00	0,89	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
32	75,00	0,41	75,00	150,00	0,730	148,81	225,00	0,98	221,43	75,00	0,38	75,00	150,00	0,708	150,00	225,00	0,89	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
33	75,00	0,41	73,81	150,00	0,730	148,81	225,00	0,98	223,81	75,00	0,38	75,00	150,00	0,708	148,81	225,00	0,89	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
34	75,00	0,41	75,00	150,00	0,730	148,81	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	74,28	150,00	0,708	150,00	225,00	0,89	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
35	75,00	0,42	73,81	150,00	0,730	148,81	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,708	150,00	225,00	0,89	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
36	75,00	0,42	75,00	150,00	0,730	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,708	150,00	225,00	0,89	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
37	75,00	0,42	75,00	150,00	0,730	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,708	150,00	225,00	0,89	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
38	75,00	0,42	73,81	150,00	0,730	148,81	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,709	150,00	225,00	0,89	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
39	75,00	0,42	75,00	150,00	0,735	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,709	148,81	225,00	0,89	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
40	75,00	0,42	75,00	150,00	0,735	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,709	150,00	225,00	0,90	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
41	75,00	0,42	73,81	150,00	0,735	150,00	225,00	0,99	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,710	150,00	225,00	0,90	225,00

	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
42	75,00	0,42	75,00	150,00	0,735	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,710	150,00	225,00	0,90	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
43	75,00	0,43	75,00	150,00	0,740	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,40	74,28	150,00	0,710	150,00	225,00	0,90	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
44	75,00	0,43	75,00	150,00	0,740	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,40	75,00	150,00	0,710	150,00	225,00	0,90	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
45	75,00	0,43	73,81	150,00	0,740	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,40	75,00	150,00	0,710	150,00	225,00	0,90	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
46	75,00	0,43	75,00	150,00	0,740	148,81	225,00	0,99	223,81	75,00	0,40	75,00	150,00	0,710	150,00	225,00	0,90	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
47	75,00	0,43	75,00	150,00	0,740	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,40	75,00	150,00	0,710	150,00	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
48	75,00	0,43	75,00	150,00	0,740	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,40	75,00	150,00	0,712	148,81	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
49	75,00	0,43	73,81	150,00	0,740	150,00	225,00	0,99	223,81	75,00	0,40	75,00	150,00	0,712	150,00	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
50	75,00	0,43	75,00	150,00	0,740	150,00	225,00	0,99	223,81	75,00	0,40	75,00	150,00	0,712	150,00	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
51	75,00	0,43	75,00	150,00	0,745	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,40	74,28	150,00	0,712	150,00	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
52	75,00	0,43	75,00	150,00	0,745	150,00	225,00	0,99	223,81	75,00	0,40	75,00	150,00	0,712	150,00	225,00	0,91	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
53	75,00	0,43	73,81	150,00	0,745	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,40	75,00	150,00	0,712	150,00	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
54	75,00	0,43	75,00	150,00	0,745	148,81	225,00	0,99	223,81	75,00	0,40	75,00	150,00	0,712	150,00	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
55	75,00	0,43	75,00	150,00	0,745	150,00	225,00	1,00	225,00	75,00	0,40	75,00	150,00	0,713	150,00	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
56	75,00	0,44	75,00	150,00	0,745	150,00	225,00	1,00	225,00	75,00	0,41	75,00	150,00	0,713	150,00	225,00	0,91	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
57	75,00	0,44	73,81	150,00	0,750	150,00	225,00	1,00	225,00	75,00	0,41	75,00	150,00	0,713	150,00	225,00	0,92	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
58	75,00	0,44	75,00	150,00	0,750	150,00	225,00	1,00	225,00	75,00	0,41	75,00	150,00	0,713	150,00	225,00	0,92	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
59	75,00	0,44	75,00	150,00	0,750	150,00	225,00	1,00	225,00	75,00	0,41	75,00	150,00	0,713	150,00	225,00	0,92	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
60	75,00	0,44	75,00	150,00	0,750	150,00	225,00	1,00	225,00	75,00	0,41	75,00	150,00	0,713	150,00	225,00	0,92	225,00

LAMPIRAN : D-3 (90 MENIT)

CAMPURAN	PEN 60/70									MODIFIKASI PEN 60/70 & BNA								
Beban Awal	75 Kg			150 Kg			225 Kg			75 Kg			150 Kg			225 Kg		
No. Benda Uji	35			13			26			8/B			34/B			20/B		
Menit Ke	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)	Beban Awal Kg	Flow (mm)	Stabilitas (kg)
0	75,00	0,00	75,00	150,00	0,00	150,00	225,00	0,00	225,00	75,00	0,00	75,00	150,00	0,00	150,00	225,00	0,00	225,00
1	75,00	0,23	45,24	150,00	0,55	94,04	225,00	0,73	147,62	75,00	0,20	53,57	150,00	0,49	110,71	225,00	0,68	167,86
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
2	75,00	0,25	54,00	150,00	0,59	111,66	225,00	0,78	161,90	75,00	0,23	59,52	150,00	0,54	121,42	225,00	0,75	178,57
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
3	75,00	0,27	56,57	150,00	0,63	120,76	225,00	0,83	169,05	75,00	0,25	65,47	150,00	0,57	127,71	225,00	0,78	185,71
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
4	75,00	0,28	59,76	150,00	0,64	127,90	225,00	0,86	180,95	75,00	0,26	67,86	150,00	0,58	134,66	225,00	0,81	195,24
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
5	75,00	0,29	63,66	150,00	0,65	132,47	225,00	0,87	188,09	75,00	0,27	70,00	150,00	0,59	138,04	225,00	0,83	202,38
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
6	75,00	0,29	64,33	150,00	0,66	134,54	225,00	0,87	195,24	75,00	0,28	70,95	150,00	0,60	141,03	225,00	0,84	209,52
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
7	75,00	0,30	65,21	150,00	0,67	136,76	225,00	0,88	202,38	75,00	0,28	71,90	150,00	0,60	143,23	225,00	0,85	214,28
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
8	75,00	0,31	65,88	150,00	0,68	138,63	225,00	0,89	207,14	75,00	0,28	72,62	150,00	0,60	145,42	225,00	0,85	217,85
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
9	75,00	0,31	66,28	150,00	0,68	140,35	225,00	0,89	209,52	75,00	0,29	72,62	150,00	0,61	146,12	225,00	0,86	219,05
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
10	75,00	0,32	66,97	150,00	0,68	142,95	225,00	0,89	211,90	75,00	0,29	72,62	150,00	0,62	146,42	225,00	0,86	219,05
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
11	75,00	0,32	67,66	150,00	0,69	144,35	225,00	0,90	214,28	75,00	0,30	73,09	150,00	0,62	146,62	225,00	0,87	220,24
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
12	75,00	0,33	68,41	150,00	0,69	145,35	225,00	0,90	215,47	75,00	0,31	73,09	150,00	0,63	147,12	225,00	0,87	221,43
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
13	75,00	0,33	69,51	150,00	0,69	145,48	225,00	0,91	216,43	75,00	0,31	73,09	150,00	0,63	147,41	225,00	0,88	221,43
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
14	75,00	0,33	70,43	150,00	0,70	146,26	225,00	0,92	217,14	75,00	0,32	73,09	150,00	0,63	147,61	225,00	0,88	221,43
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
15	75,00	0,33	71,43	150,00	0,70	146,69	225,00	0,92	217,85	75,00	0,32	73,09	150,00	0,63	147,68	225,00	0,89	221,43
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
16	75,00	0,34	71,43	150,00	0,70	146,66	225,00	0,92	218,09	75,00	0,33	73,09	150,00	0,63	147,68	225,00	0,89	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
17	75,00	0,34	72,62	150,00	0,70	146,80	225,00	0,92	218,09	75,00	0,33	73,81	150,00	0,63	147,68	225,00	0,89	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
18	75,00	0,34	72,62	150,00	0,71	146,96	225,00	0,92	218,57	75,00	0,33	73,81	150,00	0,64	147,68	225,00	0,90	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
19	75,00	0,34	72,62	150,00	0,71	147,56	225,00	0,93	218,81	75,00	0,33	73,81	150,00	0,64	148,01	225,00	0,90	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
20	75,00	0,34	72,62	150,00	0,71	147,56	225,00	0,93	218,81	75,00	0,34	73,81	150,00	0,64	148,41	225,00	0,90	222,62

	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
21	75,00	0,35	72,62	150,00	0,72	147,61	225,00	0,93	218,81	75,00	0,34	73,81	150,00	0,64	148,81	225,00	0,90	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
22	75,00	0,36	72,62	150,00	0,72	147,61	225,00	0,93	219,28	75,00	0,34	74,28	150,00	0,64	148,81	225,00	0,90	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
23	75,00	0,36	73,81	150,00	0,72	147,61	225,00	0,93	220,00	75,00	0,34	74,28	150,00	0,64	148,81	225,00	0,90	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
24	75,00	0,36	73,81	150,00	0,72	147,61	225,00	0,94	220,24	75,00	0,34	74,28	150,00	0,64	148,81	225,00	0,90	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
25	75,00	0,36	73,81	150,00	0,72	147,61	225,00	0,94	220,24	75,00	0,34	74,28	150,00	0,65	148,81	225,00	0,91	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
26	75,00	0,36	73,81	150,00	0,73	147,61	225,00	0,94	220,24	75,00	0,34	74,28	150,00	0,65	148,81	225,00	0,91	222,62
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
27	75,00	0,37	73,81	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,35	74,28	150,00	0,65	150,00	225,00	0,91	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
28	75,00	0,37	73,81	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,35	74,28	150,00	0,66	150,00	225,00	0,92	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
29	75,00	0,37	73,81	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,35	75,00	150,00	0,66	150,00	225,00	0,92	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
30	75,00	0,37	73,81	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,35	75,00	150,00	0,66	150,00	225,00	0,92	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
31	75,00	0,38	73,81	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,35	75,00	150,00	0,66	150,00	225,00	0,92	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
32	75,00	0,38	73,81	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,36	75,00	150,00	0,66	148,81	225,00	0,92	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
33	75,00	0,38	75,00	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,36	75,00	150,00	0,66	150,00	225,00	0,92	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
34	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,36	75,00	150,00	0,66	150,00	225,00	0,93	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
35	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	221,43	75,00	0,36	74,52	150,00	0,66	150,00	225,00	0,93	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
36	75,00	0,40	75,00	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	222,62	75,00	0,37	75,00	150,00	0,66	150,00	225,00	0,93	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
37	75,00	0,40	75,00	150,00	0,73	148,57	225,00	0,95	222,62	75,00	0,37	75,00	150,00	0,66	150,00	225,00	0,93	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
38	75,00	0,40	75,00	150,00	0,73	149,52	225,00	0,95	222,62	75,00	0,37	75,00	150,00	0,66	150,00	225,00	0,93	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
39	75,00	0,40	75,00	150,00	0,73	149,52	225,00	0,95	222,62	75,00	0,37	75,00	150,00	0,67	150,00	225,00	0,93	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
40	75,00	0,41	75,00	150,00	0,73	149,52	225,00	0,95	222,62	75,00	0,37	75,00	150,00	0,67	150,00	225,00	0,93	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
41	75,00	0,41	75,00	150,00	0,73	149,52	225,00	0,96	222,62	75,00	0,37	75,00	150,00	0,67	148,81	225,00	0,93	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
42	75,00	0,41	75,00	150,00	0,73	149,52	225,00	0,96	222,62	75,00	0,38	75,00	150,00	0,67	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
43	75,00	0,41	75,00	150,00	0,73	149,52	225,00	0,96	222,62	75,00	0,38	74,52	150,00	0,67	150,00	225,00	0,94	225,00

	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
44	75,00	0,41	75,00	150,00	0,73	149,52	225,00	0,96	222,62	75,00	0,38	75,00	150,00	0,67	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
45	75,00	0,41	75,00	150,00	0,73	149,52	225,00	0,96	222,62	75,00	0,38	75,00	150,00	0,67	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00	0,73	150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
46	75,00	0,41	75,00	150,00	0,74	149,52	225,00	0,96	222,62	75,00	0,38	75,00	150,00	0,67	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
47	75,00	0,41	75,00	150,00	0,74	149,52	225,00	0,96	222,62	75,00	0,38	75,00	150,00	0,68	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
48	75,00	0,41	75,00	150,00	0,74	150,00	225,00	0,97	222,62	75,00	0,38	75,00	150,00	0,68	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
49	75,00	0,41	73,81	150,00	0,74	150,00	225,00	0,97	223,81	75,00	0,38	75,00	150,00	0,69	150,00	225,00	0,94	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
50	75,00	0,41	75,00	150,00	0,74	150,00	225,00	0,97	223,81	75,00	0,38	75,00	150,00	0,69	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00	0,38	75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
51	75,00	0,41	75,00	150,00	0,74	149,04	225,00	0,97	223,81	75,00	0,38	75,00	150,00	0,69	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00	0,38	75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
52	75,00	0,42	75,00	150,00	0,74	150,00	225,00	0,97	223,81	75,00	0,38	75,00	150,00	0,69	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00	0,38	75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
53	75,00	0,42	75,00	150,00	0,74	150,00	225,00	0,97	223,81	75,00	0,38	74,52	150,00	0,69	148,81	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
54	75,00	0,42	75,00	150,00	0,74	150,00	225,00	0,97	223,81	75,00	0,38	75,00	150,00	0,69	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
55	75,00	0,42	75,00	150,00	0,74	150,00	225,00	0,98	222,62	75,00	0,39	75,00	150,00	0,70	150,00	225,00	0,94	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
56	75,00	0,42	75,00	150,00	0,75	149,04	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,70	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
57	75,00	0,42	75,00	150,00	0,75	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,70	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
58	75,00	0,42	74,28	150,00	0,75	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,70	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
59	75,00	0,42	74,28	150,00	0,75	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,71	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
60	75,00	0,42	75,00	150,00	0,75	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,71	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
61	75,00	0,42	75,00	150,00	0,75	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,71	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
62	75,00	0,42	75,00	150,00	0,76	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,72	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
63	75,00	0,42	75,00	150,00	0,76	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	74,52	150,00	0,72	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
64	75,00	0,42	73,81	150,00	0,76	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,72	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
65	75,00	0,42	75,00	150,00	0,76	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,72	150,00	225,00	0,95	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
66	75,00	0,42	75,00	150,00	0,76	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,72	148,81	225,00	0,96	225,00

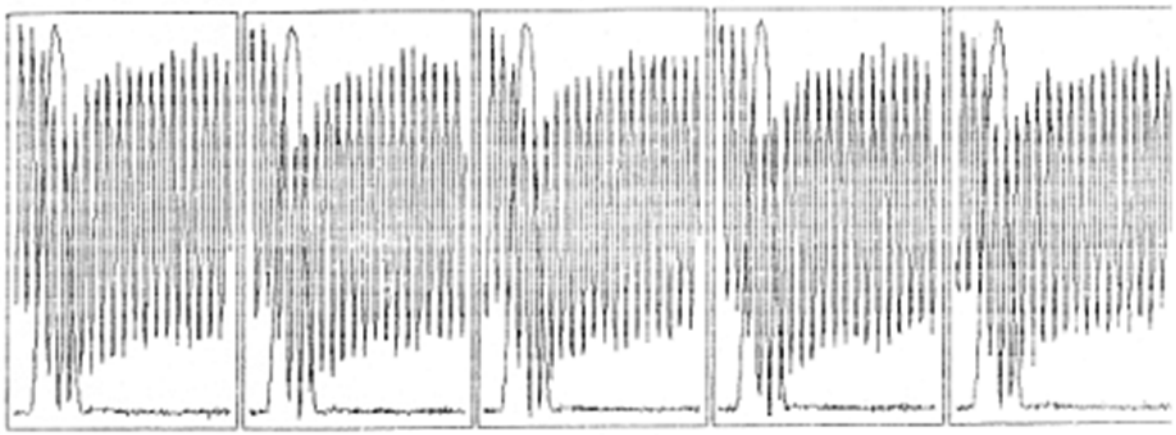
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
67	75,00	0,42	75,00	150,00	0,76	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,72	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
68	75,00	0,42	75,00	150,00	0,77	149,04	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,72	150,00	225,00	0,96	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
69	75,00	0,42	75,00	150,00	0,77	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,72	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
70	75,00	0,42	75,00	150,00	0,77	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
71	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
72	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
73	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
74	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
75	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
76	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
77	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,96	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
78	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
79	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	74,52	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
80	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,98	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
81	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	223,81
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
82	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
83	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	149,04	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	148,81	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
84	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
85	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
86	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
87	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
88	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	223,81	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00
	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
89	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00

	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00	75,00		75,00	150,00		150,00	225,00		225,00
90	75,00	0,42	75,00	150,00	0,78	150,00	225,00	0,99	225,00	75,00	0,39	75,00	150,00	0,73	150,00	225,00	0,97	225,00

LAMPIRAN E.1, Hasil Uji Umata

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



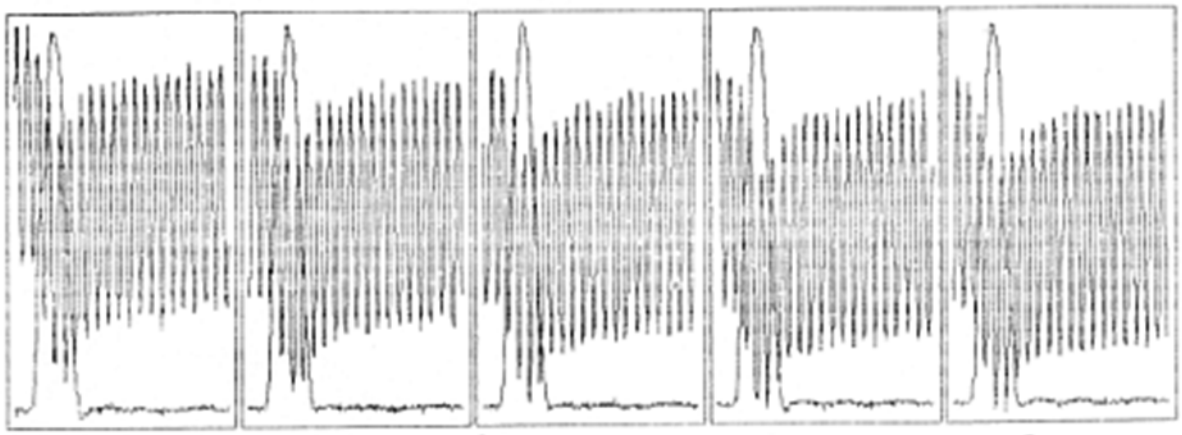

```
          test date and time: Friday April 15, 2011  4:21 PM
      specimen identification: HUSNUL
                      comment: NO.Benda UJI 20 ( Direndam dalam air)
                      comment: PENELITIAN
                      comment: AC-WC (Pen 60/70)
        specimen length (mm): 62.9
      specimen diameter (mm): 101.6
       condition pulse count: 5
 condition pulse period (ms): 2000
      test pulse period (ms): 3000
            pulse width (ms): 100
     peak loading force (N): 750
   estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL.CSV
   test variant description: Rendaman 0.5 jam stl uji Mr Konfensional
 measured temperatures (°C): Core=27.3    Skin=26.9
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	753.11	29.99	75.02	41	88	7	2632
2	750.18	31.43	74.73	42	89	17	2501
3	750.18	31.43	74.73	40	88	6	2501
4	753.11	30.86	75.02	40	88	19	2558
5	753.11	29.99	75.02	40	89	7	2632
mean	751.94	30.74	74.9	40.6	88.4	11.2	2565
SD	1.4355	0.647	0.143	0.8	0.489	5.6	58.46
CV%	0.1909	2.105	0.19	1.97	0.554	50.0	2.279

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



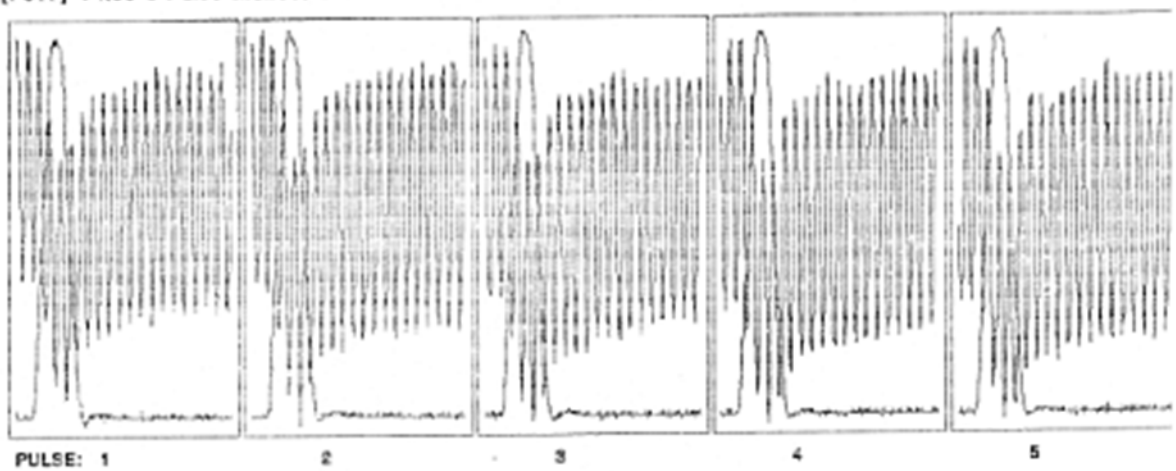

```
          test date and time: Friday April 15, 2011  6:14 PM
      specimen identification: HUSNUL.8
                      comment: NO.Benda UJI 16
                      comment: PENELITIAN
                      comment: AC-WC (Pen 60/70)
        specimen length (mm): 62.8
      specimen diameter (mm): 101.6
       condition pulse count: 5
  condition pulse period (ms): 2000
       test pulse period (ms): 3000
             pulse width (ms): 100
      peak loading force (N): 750
    estimated Poissons ratio: 0.40
   force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
    radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
    radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
  core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
  skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
    archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_8.BIN
 ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_8.CSV
    test variant description: Rendaman 1 jam stl.uji Mr. Konfensional
  measured temperatures (°C): Core=25.9    Skin=25.8
 conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	782.41	32.88	78.06	35	84	21	2498
2	788.27	32.3	78.65	37	84	7	2562
3	794.13	33.45	79.23	38	83	12	2492
4	779.48	33.45	77.77	35	84	19	2446
5	785.34	33.45	78.35	39	86	24	2464
mean	785.93	33.11	78.41	36.8	84.2	16.6	2492
SD	5.0416	0.461	0.503	1.6	0.979	6.2161	39.52
CV%	0.6414	1.393	0.641	4.347	1.163	37.446	1.585

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



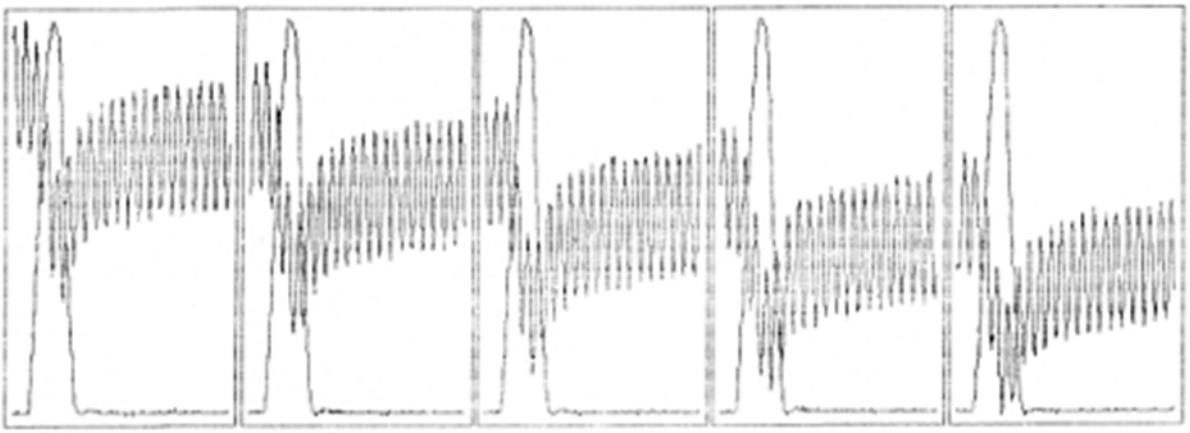

```
        test date and time: Wednesday May 4, 2011  1:06 PM
    specimen identification: HUSNUL-5
                    comment: NO.Benda UJI 35
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70)
      specimen length (mm): 62.0
    specimen diameter (mm): 101.0
     condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
           pulse width (ms): 100
    peak loading force (N): 750
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL-5.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL-5.CSV
   test variant description: Rendaman 1.5 jam stl. uji Mr. Konvensional
 measured temperatures (°C): Core=27.2     Skin=26.9
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	744.32	33.36	75.67	42	89	18	2386
2	758.97	36.26	77.16	36	86	19	2239
3	756.04	35.39	76.86	37	84	16	2285
4	750.18	35.1	76.26	36	86	15	2286
5	753.11	34.52	76.56	38	86	10	2333
mean	752.52	34.93	76.5	37.8	86.2	15.6	2306
SD	5.0416	0.964	0.512	2.227	1.6	3.1368	50.19
CV%	0.6699	2.759	0.669	5.891	1.856	20.108	2.176

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



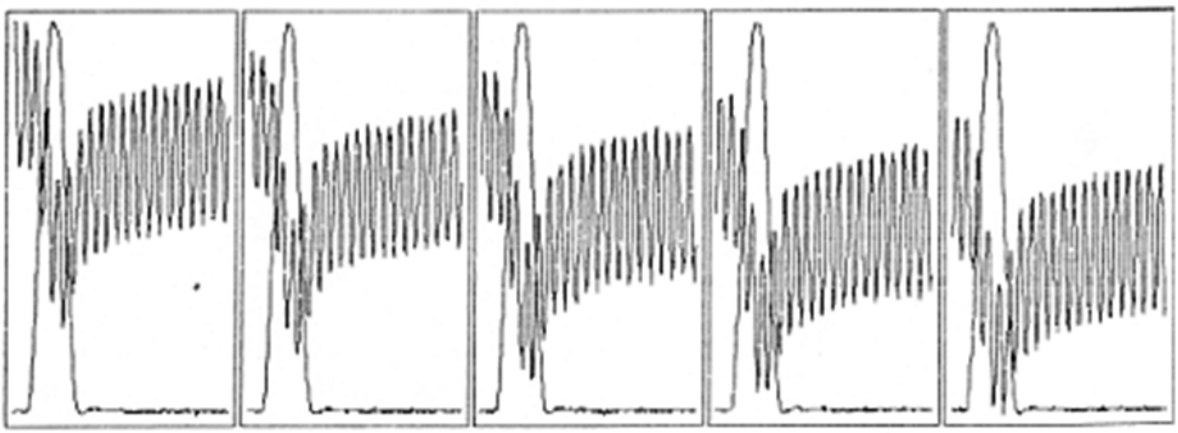

```
        test date and time: Friday April 15, 2011  5:18 PM
    specimen identification: HUSNUL1.1
                    comment: NO.Benda UJI 21 ( Direndam dalam air)
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70)
      specimen length (mm): 61.8
     specimen diameter (mm): 101.6
      condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
           pulse width (ms): 100
     peak loading force (N): 1500
   estimated Poissons ratio: 0.40
   force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
    radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
    radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL1_.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL1_.CSV
   test variant description: Rendaman 0.5 jam stl.uji Mr.Konfensional
 measured temperatures (°C): Core=26.2    Skin=25.9
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	1494.5	50.76	151.5	41	86	16	3141
2	1500.3	49.89	152.1	38	87	12	3208
3	1500.3	54.8	152.1	40	87	15	2921
4	1497.4	52.49	151.8	38	84	22	3043
5	1494.5	52.49	151.5	39	84	8	3037
mean	1497.4	52.08	151.8	39.2	85.6	14.6	3070
SD	2.621	1.687	0.265	1.166	1.356	4.6303	98.05
CV%	0.175	3.24	0.175	2.974	1.584	31.714	3.193

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



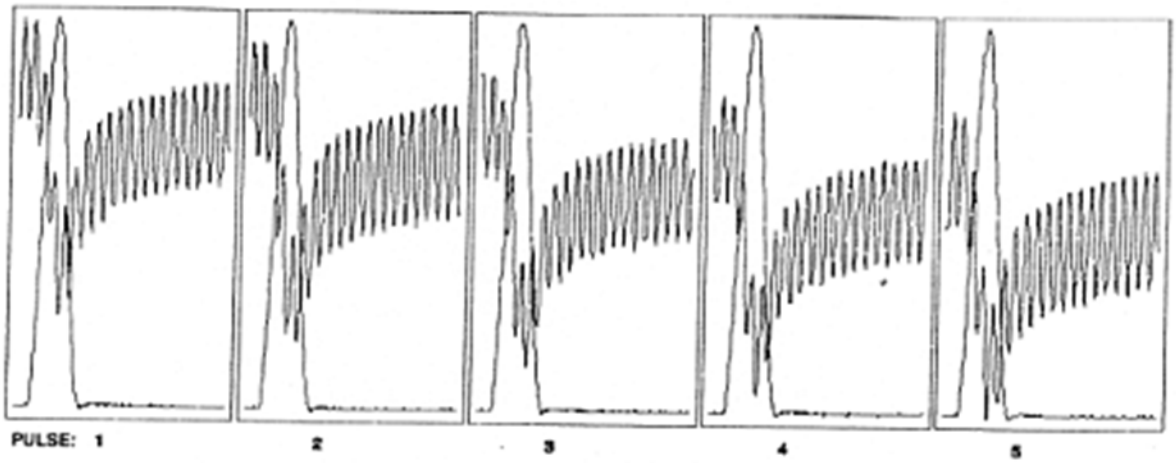

```
          test date and time: Wednesday May 4, 2011  3:14 PM
      specimen identification: HUSNUL-8
                      comment: NO.Benda UJI 23
                      comment: PENELITIAN
                      comment: AC-WC (Pen 60/70)
        specimen length (mm): 63.1
      specimen diameter (mm): 101.0
       condition pulse count: 5
 condition pulse period (ms): 2000
      test pulse period (ms): 3000
            pulse width (ms): 100
     peak loading force (N): 1500
   estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL-8.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL-8.CSV
   test variant description: Rendaman 1jam stl. uji Mr. Konvensional
 measured temperatures (°C): Core=26.4    Skin=26.2
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	1494.5	51.93	149.2	38	88	19	3025
2	1488.6	52.51	148.7	39	86	18	2980
3	1491.5	53.96	148.9	41	88	20	2905
4	1488.6	52.51	148.7	41	88	2	2980
5	1488.6	53.38	148.7	44	88	21	2931
mean	1490.4	52.86	148.8	40.6	87.6	16.0	2964
SD	2.3443	0.72	0.234	2.059	0.8	7.071	41.77
CV%	0.1572	1.362	0.157	5.071	0.913	44.194	1.409

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



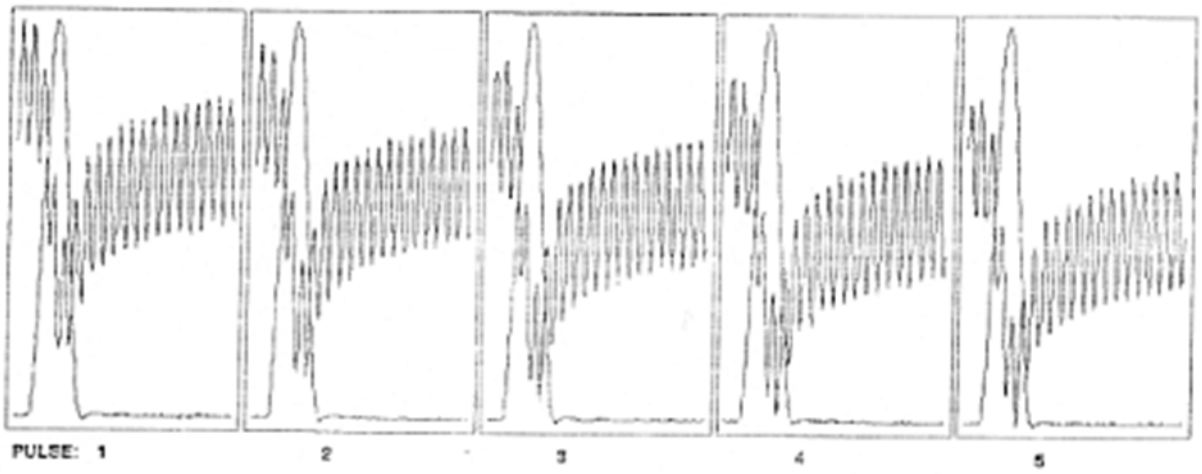
test date and time: Wednesday May 4, 2011 5:59 PM
specimen identification: HUSNUl.Fikri
comment: NO.Benda UJI 22
comment: PENELITIAN
comment: AC-WC (Pen 60/70)
specimen length (mm): 62.7
specimen diameter (mm): 101.4
condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
test pulse period (ms): 3000
pulse width (ms): 100
peak loading force (N): 2250
estimated Poissons ratio: 0.40
force load cell cal index: 6 [Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN]
radial LVDT #1 cal index: 12 [Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887]
radial LVDT #2 cal index: 13 [Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888]
core temperature cal index: 1 [Core temp. PT100 S/N.395]
skin temperature cal index: 2 [Skin temp. PT100 S/N.396]
archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_F.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_F.CSV
test variant description: Rendaman 0.5 jam sth uji Mr Konvensional
measured temperatures (°C): Core=26.2 Skin=26.0
conditioning pulses counted: 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2235.8	69.64	223.8	43	89	6	3383
2	2235.8	69.64	223.8	43	89	21	3383
3	2238.8	70.22	224.1	43	89	17	3359
4	2238.8	72.53	224.1	44	89	11	3252
5	2235.8	72.82	223.8	43	89	6	3235
mean	2237.0	70.97	224.0	43.2	89.0	12.2	3322
SD	1.4355	1.411	0.143	0.4	0.0	5.9799	65.11
CV%	0.0641	1.988	0.064	0.925	0.0	49.016	1.959

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



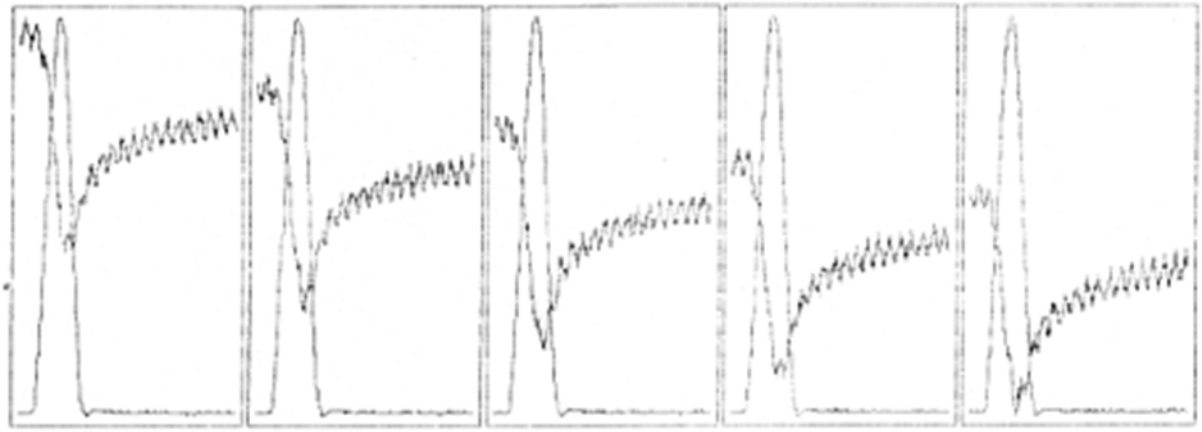
test date and time: Friday April 15, 2011 6:25 PM
specimen identification: HUSNUL.9
comment: NO.Benda UJI 19 (Direndam dalam air)
comment: PENELITIAN
comment: AC-WC (Pen 60/70)
specimen length (mm): 61.7
specimen diameter (mm): 101.6
condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
test pulse period (ms): 3000
pulse width (ms): 100
peak loading force (N): 2250
estimated Poissons ratio: 0.40
force load cell cal index: 6 [Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN]
radial LVDT #1 cal index: 12 [Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887]
radial LVDT #2 cal index: 13 [Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888]
core temperature cal index: 1 [Core temp. PT100 S/N.395]
skin temperature cal index: 2 [Skin temp. PT100 S/N.396]
archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_9.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_9.CSV
test variant description: Rendaman 1 jam stl.uji Mr. Konfensional
measured temperatures (°C): Core=26.0 Skin=25.9
conditioning pulses counted: 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0_peak (ms)	LoadTime 0_0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2238.8	71.52	227.3	42	89	6	3345
2	2241.7	74.99	227.6	42	89	23	3195
3	2238.8	76.43	227.3	44	90	22	3130
4	2247.6	76.72	228.2	43	89	21	3131
5	2244.6	76.14	227.9	43	90	20	3150
mean	2242.3	75.16	227.7	42.8	89.4	18.4	3190
SD	3.4174	1.909	0.347	0.748	0.489	6.2801	80.81
CV%	0.1524	2.54	0.152	1.748	0.547	34.131	2.532

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



test date and time: Wednesday April 13, 2011 2:54 PM
specimen identification: HUSNUL.01
comment: NO.Benda UJI 26 (Direndam dalam air)
comment: PENELITIAN
comment: AC-WC (Pen 60/70)
specimen length (mm): 61.6
specimen diameter (mm): 101.6
condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
test pulse period (ms): 3000
pulse width (ms): 100
peak loading force (N): 2250
estimated Poissons ratio: 0.40
force load cell cal index: 6 [Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN]
radial LVDT #1 cal index: 12 [Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51687]
radial LVDT #2 cal index: 13 [Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51688]
core temperature cal index: 1 [Core temp. PT100 S/N.395]
skin temperature cal index: 2 [Skin temp. PT100 S/N.396]
archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_0.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_0.CSV
test variant description: Rendaman 1.5 jam sti uji Mr Konfensionsl
measured temperatures (°C): Core=26.3 Skin=26.0
conditioning pulses counted: 5

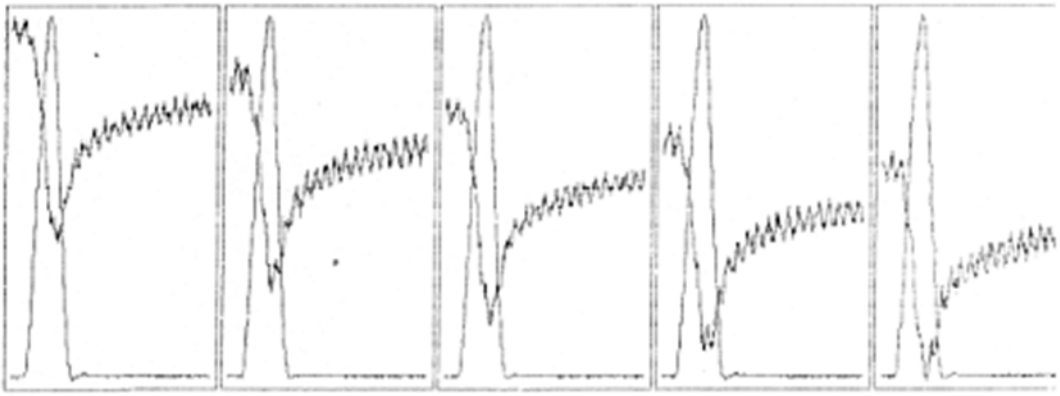
Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2238.8	68.93	227.7	42	89	9	3476
2	2238.8	77.0	227.7	42	89	15	3112
3	2238.8	77.58	227.7	45	90	18	3089
4	2244.6	77.58	228.3	42	90	10	3097
5	2235.8	80.75	227.4	41	89	11	2963
mean	2239.4	76.37	227.7	42.4	89.4	12.6	3147
SD	2.8711	3.947	0.292	1.356	0.489	3.3823	172.8
CV%	0.1282	5.169	0.128	3.199	0.547	26.843	5.49

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

LAMPIRAN E.2, Hasil Uji Umata

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



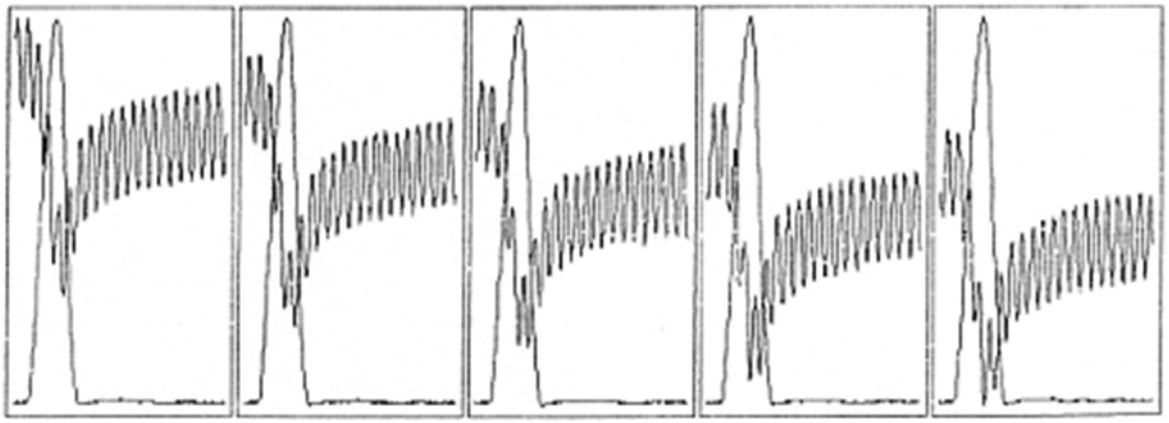

```
        test date and time: Wednesday April 13, 2011  2:36 PM
    specimen identification: HUSNUL.7
                    comment: NO.Benda UJI 34
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70)
      specimen length (mm): 61.7
    specimen diameter (mm): 101.6
     condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
          pulse width (ms): 100
    peak loading force (N): 3000
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_7.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_7.CSV
   test variant description:
 measured temperatures (°C): Core=26.4    Skin=26.2
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2912.8	70.66	295.8	46	89	16	4405
2	2906.9	77.0	295.2	46	89	5	4034
3	2915.7	78.45	296.1	46	89	14	3972
4	2912.8	78.16	295.8	46	89	5	3982
5	2909.8	79.6	295.5	46	89	12	3906
mean	2911.6	76.77	295.6	46.0	89.0	10.4	4060
SD	2.9884	3.166	0.303	0.0	0.0	4.5869	177.3
CV%	0.1026	4.124	0.102	0.0	0.0	44.105	4.366

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



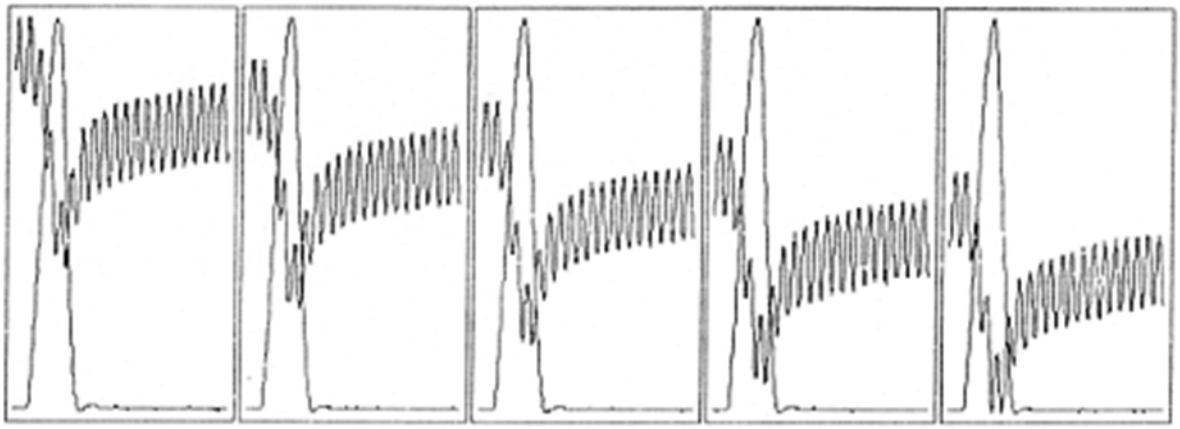
test date and time: Friday May 6, 2011 2:53 PM
specimen identification: HUSNUL FIKRI.1
comment: NO.Benda UJI 36
comment: PENELITIAN
comment: AC-WC (Pen 60/70)
specimen length (mm): 62.9
specimen diameter (mm): 101.1
condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
test pulse period (ms): 3000
pulse width (ms): 100
peak loading force (N): 3000
estimated Poissons ratio: 0.40
force load cell cal index: 6 [Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN]
radial LVDT #1 cal index: 12 [Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887]
radial LVDT #2 cal index: 13 [Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888]
core temperature cal index: 1 [Core temp. PT100 S/N.395]
skin temperature cal index: 2 [Skin temp. PT100 S/N.396]
archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_F.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_F.CSV
test variant description: Tanpa Direndam
measured temperatures (°C): Core=27.0 Skin=26.7
conditioning pulses counted: 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2898.1	74.78	290.1	46	89	17	4083
2	2904.0	75.94	290.7	46	89	18	4028
3	2912.8	74.2	291.6	48	90	19	4135
4	2904.0	78.26	290.7	46	87	3	3909
5	2904.0	79.99	290.7	48	90	6	3824
mean	2904.6	76.63	290.7	46.8	89.0	12.6	3996
SD	4.6886	2.181	0.469	0.979	1.095	6.7111	114.1
CV%	0.1614	2.846	0.161	2.093	1.23	53.263	2.855

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test




```
        test date and time: Friday May 6, 2011  3:09 PM
    specimen identification: HUSNUL FIKRI.2
                    comment: NO.Benda UJI 6
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70)
      specimen length (mm): 63.1
    specimen diameter (mm): 101.1
     condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
          pulse width (ms): 100
    peak loading force (N): 3000
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_F.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_F.CSV
   test variant description: Tanpa Direndam
 measured temperatures (°C): Core=26.5    Skin=26.2
conditioning pulses counted: 5
```

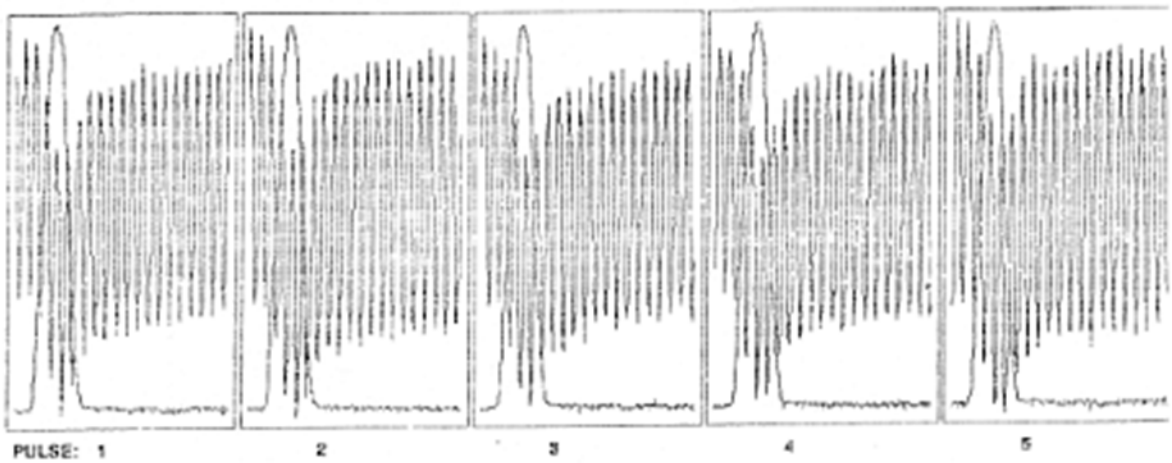
Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0_peak (ms)	LoadTime 0_0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2892.3	75.65	288.6	46	89	18	4015
2	2895.2	75.94	288.9	47	89	20	4004
3	2901.0	74.78	289.5	46	87	21	4074
4	2901.0	77.1	289.5	48	90	21	3951
5	2901.0	76.23	289.5	46	89	21	3996
mean	2898.1	75.94	289.2	46.6	88.8	20.2	4008
SD	3.7066	0.755	0.369	0.8	0.979	1.1661	39.37
CV%	0.1278	0.995	0.127	1.716	1.103	5.7732	0.982

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

LAMPIRAN E.3, Hasil Uji Umata

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



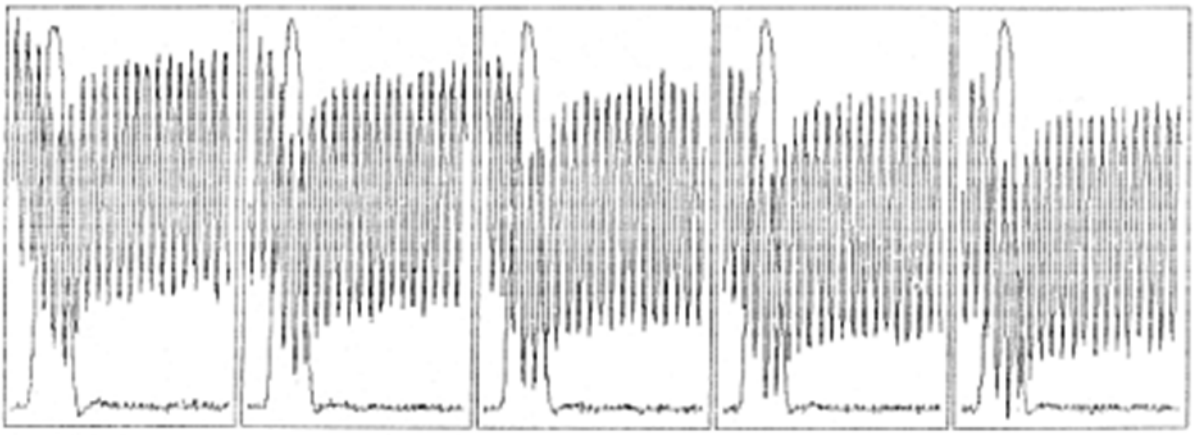

```
        test date and time: Friday April 15, 2011  4:29 PM
    specimen identification: HUSNUL10
                    comment: NO.Benda UJI 10 ( Direndam dalam air)
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif BNA 25%)
      specimen length (mm): 63.0
     specimen diameter (mm): 101.6
      condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
          pulse width (ms): 100
     peak loading force (N): 750
   estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL10.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL10.CSV
   test variant description: Rendaman 0.5 jam stl uji Mr Konfensional
 measured temperatures (°C): Core=26.9    Skin=26.6
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0_peak (ms)	LoadTime 0_0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	738.46	32.01	73.44	46	90	8	2557
2	732.6	31.72	72.86	38	88	12	2662
3	735.53	30.57	73.15	39	89	16	2565
4	735.53	29.99	73.15	38	87	2	2703
5	732.6	32.3	72.86	37	88	23	2500
Mean	734.94	31.32	73.09	39.6	88.4	12.2	2597
SD	2.1929	0.896	0.218	3.261	1.019	7.1105	74.1
CV%	0.2983	2.829	0.298	8.237	1.153	58.283	2.852

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



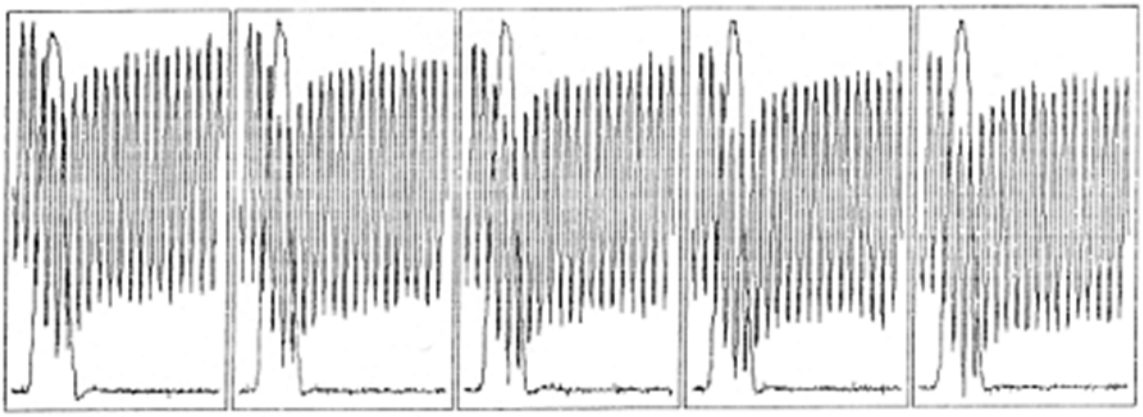
test date and time: Wednesday May 4, 2011 12:39 PM
specimen identification: HUSNUL-4
comment: NO.Benda UJI 16/B
comment: PENELITIAN
comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif BNA 25%)
specimen length (mm): 62.6
specimen diameter (mm): 101.0
condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
test pulse period (ms): 3000
pulse width (ms): 100
peak loading force (N): 750
estimated Poissons ratio: 0.40
force load cell cal index: 6 [Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN]
radial LVDT #1 cal index: 12 [Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887]
radial LVDT #2 cal index: 13 [Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888]
core temperature cal index: 1 [Core temp. PT100 S/N.395]
skin temperature cal index: 2 [Skin temp. PT100 S/N.396]
archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL-4.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL-4.CSV
test variant description: Rendaman 1jam stl uji Mr. Konfensional
measured temperatures (°C): Core=27.4 Skin=27.1
conditioning pulses counted: 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	747.25	31.33	75.24	37	88	25	2527
2	758.97	30.46	76.42	39	87	11	2640
3	758.97	30.75	76.42	35	85	19	2615
4	761.9	30.17	76.71	38	87	7	2675
5	758.97	31.91	76.42	38	85	13	2520
mean	757.21	30.92	76.24	37.4	86.4	15.0	2595
SD	5.1093	0.624	0.514	1.356	1.2	6.3245	61.93
CV%	0.6747	2.02	0.674	3.626	1.388	42.163	2.386

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



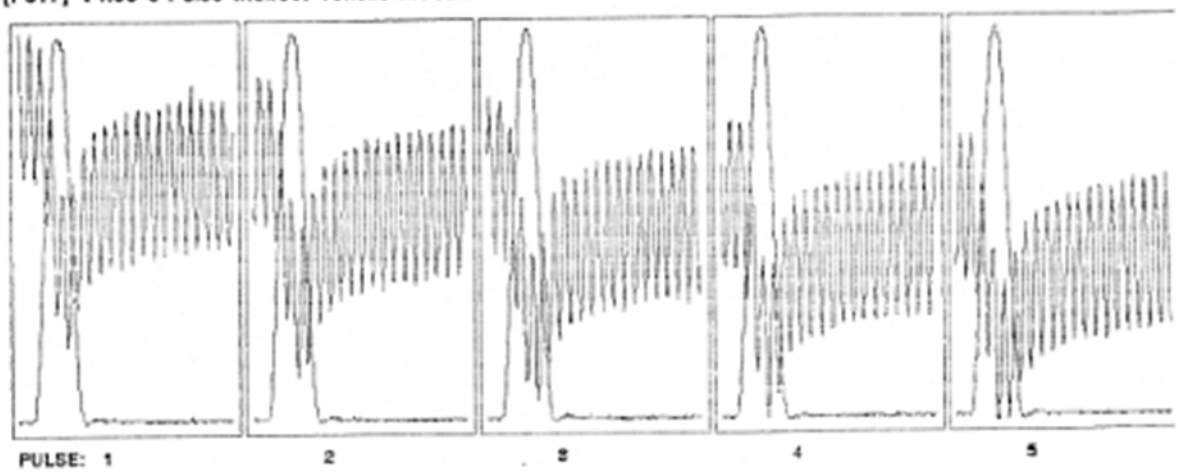

```
        test date and time: Wednesday May 4, 2011  12:03 PM
   specimen identification: HUSNUL-2
                   comment: NO.Benda UJI 8/B
                   comment: PENELITIAN
                   comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif BNA 25%)
     specimen length (mm): 62.2
  specimen diameter (mm): 101.0
    condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
    test pulse period (ms): 3000
         pulse width (ms): 100
    peak loading force (N): 750
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL-2.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL-2.CSV
   test variant description: Rendaman 1.5 jam stl uji Mr. Konfensional
 measured temperatures (°C): Core=29.3    Skin=28.9
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0_peak (ms)	LoadTime 0_0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	744.32	31.04	75.42	40	88	11	2414
2	767.76	30.75	77.8	35	85	10	2417
3	767.76	31.91	77.8	35	83	12	2518
4	764.83	30.17	77.5	35	85	11	2566
5	761.9	32.49	77.2	36	85	10	2373
mean	761.31	31.27	77.14	36.2	85.2	10.8	2458
SD	8.7716	0.828	0.888	1.939	1.6	0.7483	72.25
CV%	1.1521	2.649	1.152	5.356	1.877	6.9289	2.939

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



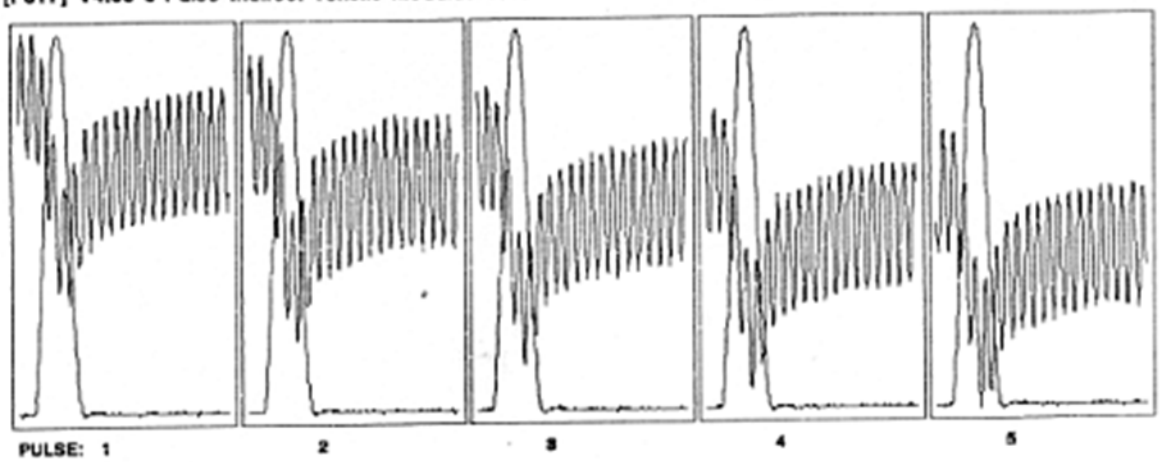

```
          test date and time: Wednesday May 4, 2011  12:31 PM
      specimen identification: HUSNUL-3
                      comment: NO.Benda UJI 19/B
                      comment: PENELITIAN
                      comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif ENA 25%)
        specimen length (mm): 63.1
      specimen diameter (mm): 101.0
       condition pulse count: 5
 condition pulse period (ms): 2000
      test pulse period (ms): 3000
            pulse width (ms): 100
      peak loading force (N): 1500
    estimated Poissons ratio: 0.40
   force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
    radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
    radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL-3.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL-3.CSV
   test variant description: Rendaman 0.5 jam stl uji Mr. Konfensional
 measured temperatures (°C): Core=27.7     Skin=27.4
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	1476.9	47.87	147.5	39	89	16	3243
2	1488.6	48.74	148.7	42	88	9	3210
3	1497.4	49.61	149.5	42	88	20	3173
4	1497.4	51.35	149.5	42	88	12	3065
5	1494.5	48.16	149.2	42	88	25	3262
mean	1490.9	49.14	148.9	41.4	88.2	16.4	3190
SD	7.7309	1.252	0.772	1.2	0.4	5.678	69.68
CV%	0.5185	2.548	0.518	2.898	0.453	34.622	2.183

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



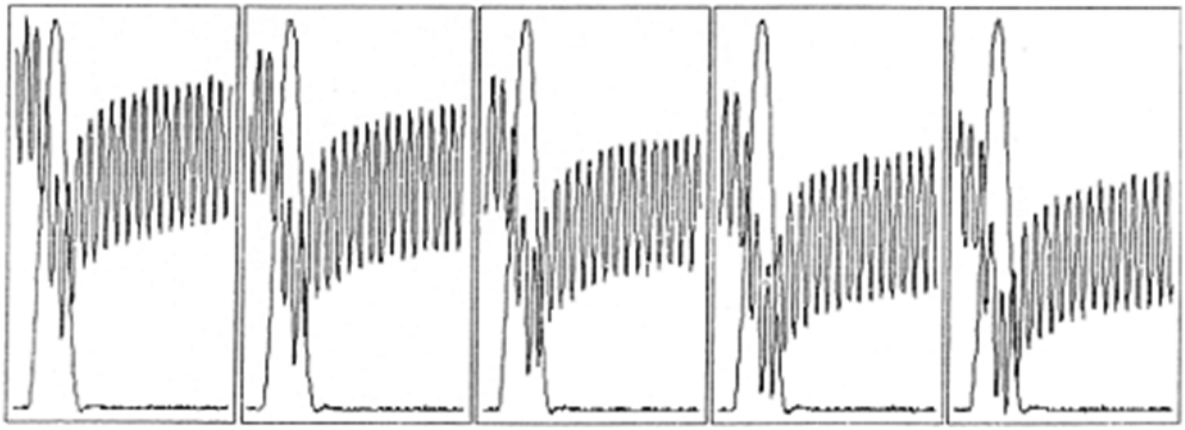

```
        test date and time: Wednesday May 4, 2011  4:30 PM
    specimen identification: HUSNUL-10
                    comment: NO.Benda UJI.4/B
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif BNA 25%)
      specimen length (mm): 61.5
    specimen diameter (mm): 101.0
     condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
          pulse width (ms): 100
    peak loading force (N): 1500
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL-1.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL-1.CSV
   test variant description: Rendaman 1 jam stl uji Mr. Konvensional
 measured temperatures (°C): Core=26.4    Skin=26.1
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	1491.5	49.61	152.8	42	87	22	3242
2	1497.4	53.09	153.4	43	88	17	3042
3	1494.5	53.96	153.1	43	88	14	2987
4	1497.4	54.25	153.4	43	88	12	2977
5	1497.4	55.12	153.4	41	88	10	2929
mean	1495.6	53.21	153.2	42.4	87.8	15.0	3035
SD	2.3443	1.912	0.24	0.8	0.4	4.1952	109.4
CV%	0.1567	3.593	0.156	1.886	0.455	27.968	3.605

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



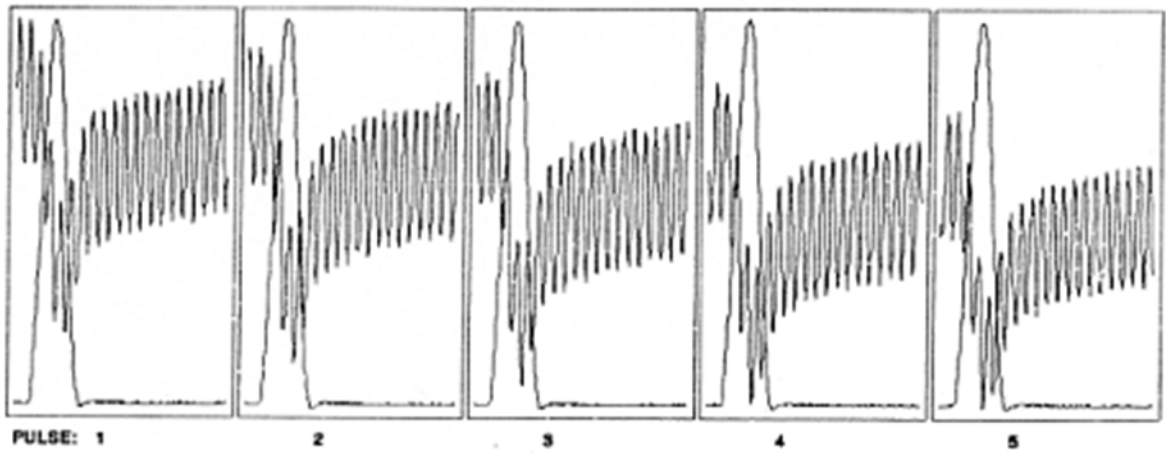
test date and time: Wednesday May 4, 2011 6:11 PM
specimen identification: HUSNUL-F
comment: NO.Benda UJI 34/B
comment: PENELITIAN
comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif BNA 25%)
specimen length (mm): 62.6
specimen diameter (mm): 101.4
condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
test pulse period (ms): 3000
pulse width (ms): 100
peak loading force (N): 1500
estimated Poissons ratio: 0.40
force load cell cal index: 6 [Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN]
radial LVDT #1 cal index: 12 [Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887]
radial LVDT #2 cal index: 13 [Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888]
core temperature cal index: 1 [Core temp. PT100 S/N.395]
skin temperature cal index: 2 [Skin temp. PT100 S/N.396]
archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL-F.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL-F.CSV
test variant description: Rendaman 1.5 jam sth uji Mr Konvensional
measured temperatures (°C): Core=26.3 Skin=26.0
conditioning pulses counted: 5

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	1488.6	53.46	149.2	42	88	14	2938
2	1497.4	54.9	150.1	43	88	10	2878
3	1500.3	51.72	150.4	43	88	6	3061
4	1497.4	52.59	150.1	43	88	22	3005
5	1503.2	52.01	150.7	41	88	21	3050
mean	1497.4	52.94	150.1	42.4	88.0	14.6	2986
SD	4.9035	1.147	0.491	0.8	0.0	6.1838	69.2
CV%	0.3274	2.166	0.327	1.886	0.0	42.355	2.316

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



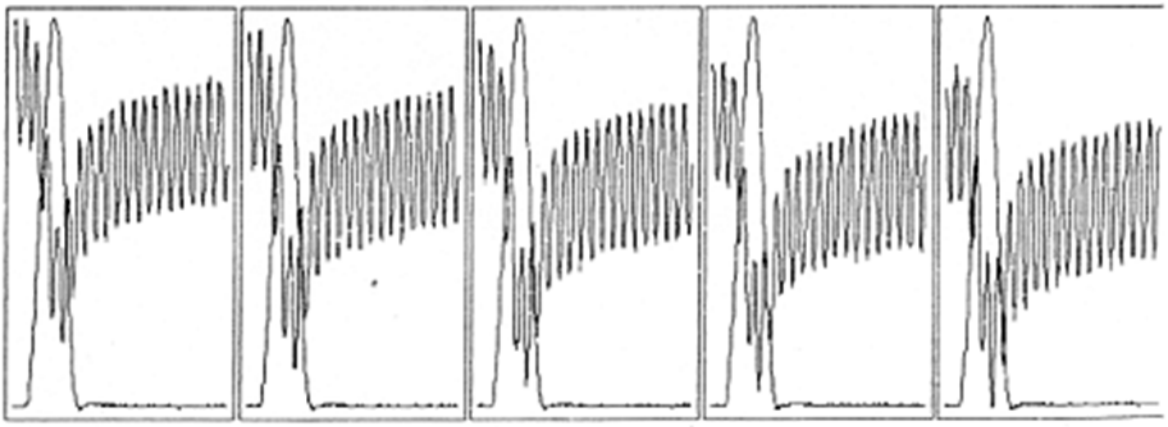

```
        test date and time: Wednesday May 4, 2011  5:22 PM
    specimen identification: HUSNUl.F
                    comment: NO.Benda UJI 13/B
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif BNA 25%)
      specimen length (mm): 62.3
    specimen diameter (mm): 101.6
     condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
          pulse width (ms): 100
    peak loading force (N): 2250
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_F.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_F.CSV
   test variant description: Rendaman 0.5.stl Uji Mr Konvensional
 measured temperatures (°C): Core=26.3    Skin=26.0
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2235.8	64.03	224.8	43	89	21	3696
2	2238.8	67.77	225.1	43	90	17	3496
3	2235.8	68.35	224.8	44	89	14	3462
4	2244.6	68.93	225.7	43	89	11	3446
5	2235.8	66.04	224.8	42	89	4	3583
mean	2238.2	67.03	225.1	43.0	89.2	13.4	3536
SD	3.4174	1.783	0.343	0.632	0.4	5.748	92.58
CV%	0.1526	2.66	0.152	1.47	0.448	42.895	2.617

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



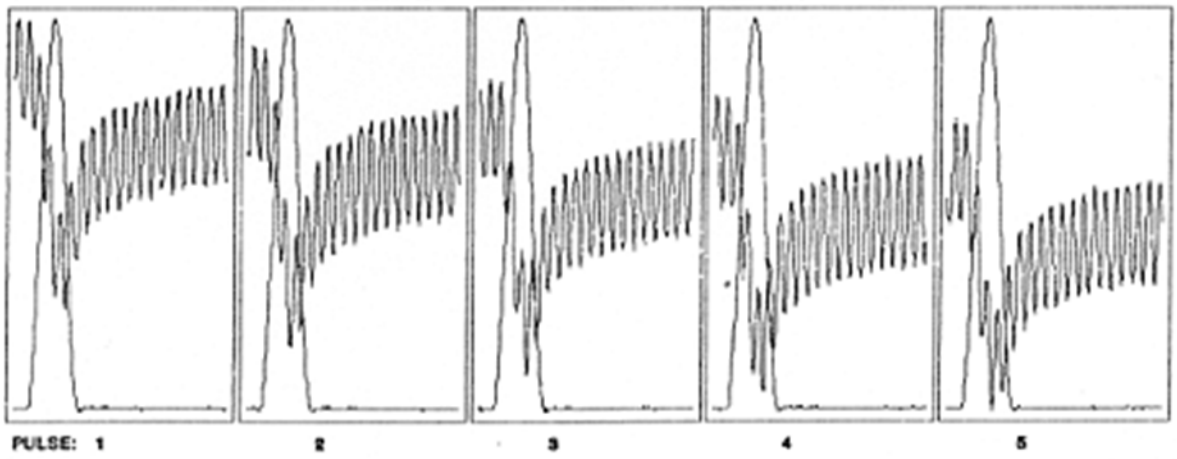

```
        test date and time: Wednesday May 4, 2011  5:39 PM
    specimen identification: HUSNUl.Fikri
                    comment: NO.Benda UJI 17/B
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif BNA 25%)
      specimen length (mm): 62.2
     specimen diameter (mm): 101.0
      condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
           pulse width (ms): 100
    peak loading force (N): 2250
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_F.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_F.CSV
   test variant description: Rendaman 1.5 jam sth uji Mr Konvensional
 measured temperatures (°C): Core=26.3    Skin=26.1
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0_peak (ms)	LoadTime 0_0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2238.8	65.28	226.8	45	89	17	3657
2	2232.9	68.76	226.2	43	90	15	3463
3	2238.8	70.21	226.8	44	90	17	3400
4	2235.8	68.76	226.5	46	90	15	3467
5	2235.8	71.08	226.5	44	89	13	3354
mean	2236.4	68.82	226.6	44.4	89.6	15.4	3468
SD	2.1929	1.979	0.222	1.019	0.489	1.4966	103.3
CV%	0.098	2.876	0.098	2.296	0.546	9.7185	2.977

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test




```
          test date and time: Wednesday May 4, 2011  5:55 PM
      specimen identification: HUSNUl.Fikri
                      comment: NO.Benda UJI 20/B2
                      comment: PENELITIAN
                      comment: AC-WC (Pen 60/70 Modif BNA 25%)
         specimen length (mm): 62.7
       specimen diameter (mm): 101.4
        condition pulse count: 5
  condition pulse period (ms): 2000
       test pulse period (ms): 3000
            pulse width (ms): 100
      peak loading force (N): 2250
    estimated Poissons ratio: 0.40
     force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
      radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
      radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
   core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
   skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
     archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL_F.BIN
  ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL_F.CSV
     test variant description: Rendaman 1.5 jam sth uji Mr Konvensional
   measured temperatures (°C): Core=26.3     Skin=26.0
  conditioning pulses counted: 5
```

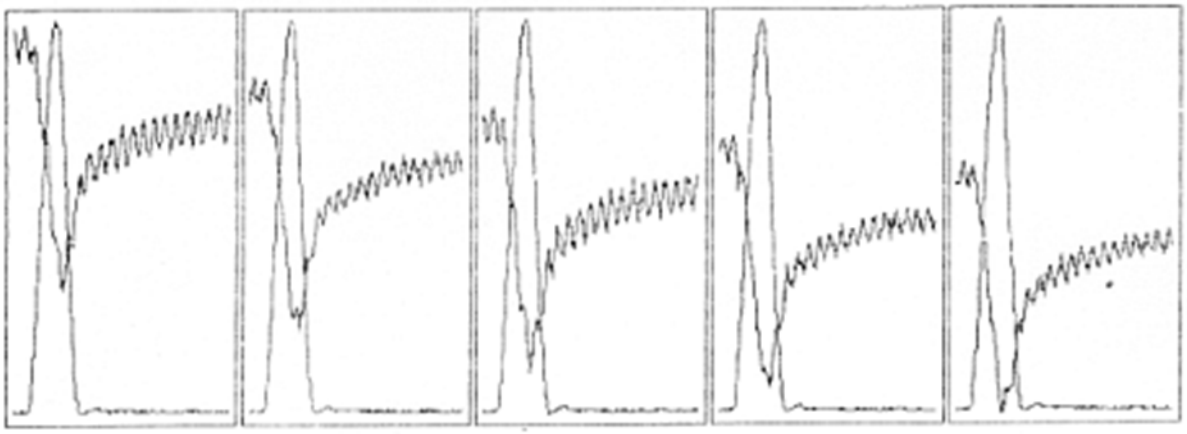
Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0_peak (ms)	LoadTime 0_0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2232.9	68.2	223.5	42	89	20	3450
2	2235.8	71.67	223.8	46	90	6	3287
3	2235.8	73.69	223.8	44	89	13	3197
4	2238.8	71.38	224.1	43	89	22	3305
5	2235.8	71.09	223.8	42	89	8	3314
mean	2235.8	71.2	223.8	43.4	89.2	13.8	3310
SD	1.8533	1.758	0.185	1.496	0.4	6.3371	81.11
CV%	0.0828	2.469	0.082	3.448	0.448	45.921	2.449

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

LAMPIRAN E.4, Hasil Uji Umata

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



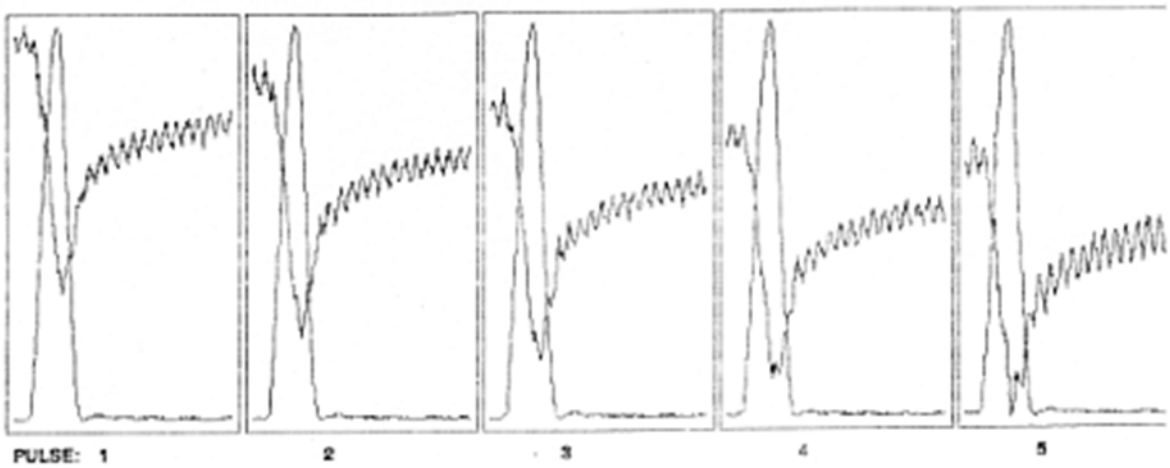

```
        test date and time: Tuesday April 5, 2011  3:07 PM
    specimen identification: HUSNUL
                    comment: 21/B
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70 + BNA 25%)
      specimen length (mm): 64.0
     specimen diameter (mm): 101.0
      condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
          pulse width (ms): 100
     peak loading force (N): 3000
   estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL.CSV
   test variant description:
measured temperatures (°C): Core=26.5     Skin=26.2
conditioning pulses counted: 5
```

Pulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2918.6	53.09	287.4	49	91	11	5697
2	2924.5	55.12	288.0	47	89	15	5498
3	2924.5	59.76	288.0	46	89	9	5071
4	2924.5	56.86	288.0	46	89	15	5330
5	2924.5	58.02	288.0	46	89	5	5223
Mean	2923.3	56.57	287.9	46.8	89.4	11.0	5364
SD	2.3443	2.306	0.23	1.166	0.8	3.7947	217.1
CV%	0.0801	4.076	0.08	2.491	0.894	34.497	4.047

INDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test



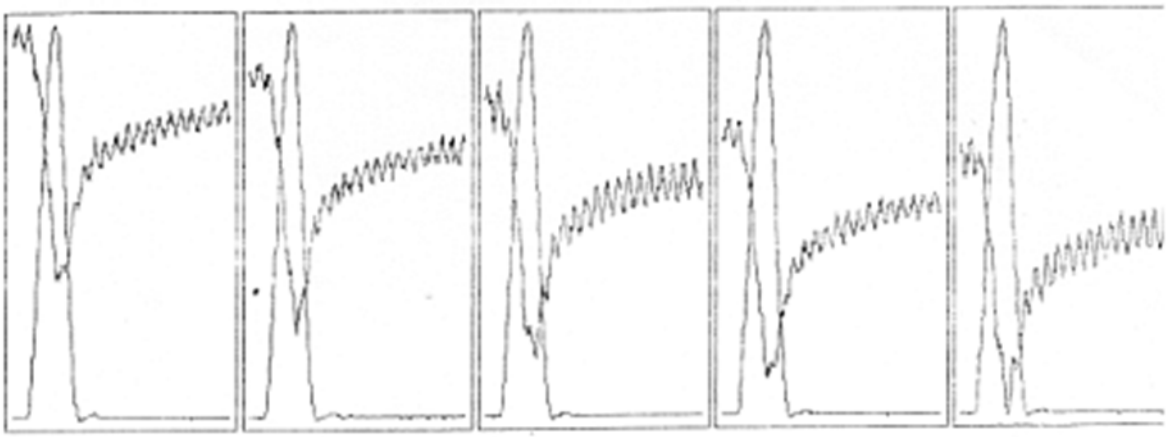

```
        test date and time: Tuesday April 5, 2011  3:24 PM
    specimen identification: HUSNUL
                    comment: 15/B
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70 + BNA 25%)
      specimen length (mm): 63.0
    specimen diameter (mm): 102.0
      condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
           pulse width (ms): 100
    peak loading force (N): 3000
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL.CSV
   test variant description:
 measured temperatures (°C): Core=26.4    Skin=26.2
conditioning pulses counted: 5
```

ulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0_peak (ms)	LoadTime 0_0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2901.0	54.29	287.4	47	89	9	5570
2	2909.8	58.6	288.2	46	89	12	5176
3	2912.8	58.03	288.5	47	89	16	5233
4	2906.9	57.17	287.9	47	90	3	5301
5	2912.8	61.76	288.5	46	89	7	4916
ean	2908.7	57.97	288.1	46.6	89.2	9.4	5239
SD	4.3858	2.406	0.434	0.489	0.4	4.409	210.5
CV%	0.1507	4.15	0.15	1.051	0.448	46.905	4.018

NDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

IPC - UPT PPP DPU PROVINSI DKI JAKARTA

[F017] V4.05 5-Pulse Indirect Tensile Modulus Test

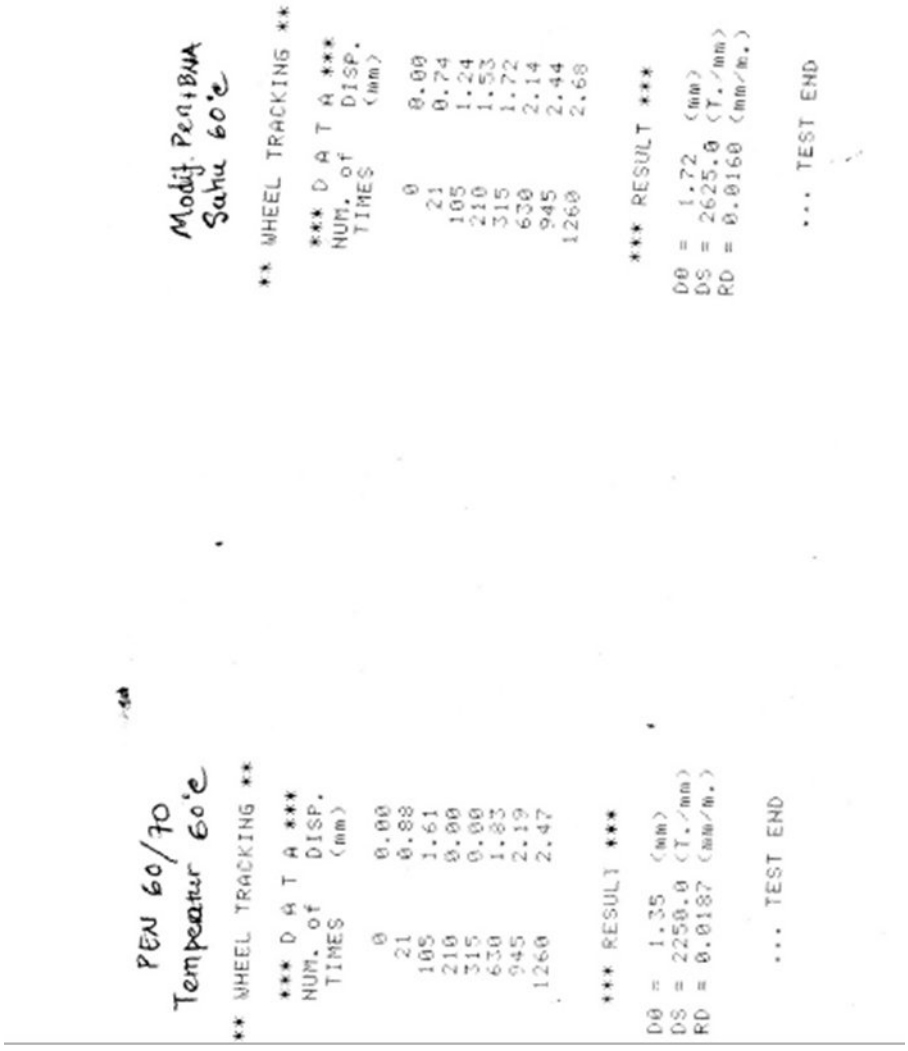



```
        test date and time: Tuesday April 5, 2011  3:16 PM
    specimen identification: HUSNUL
                    comment: 20/B
                    comment: PENELITIAN
                    comment: AC-WC (Pen 60/70 + BNA 25%)
      specimen length (mm): 63.0
     specimen diameter (mm): 101.0
      condition pulse count: 5
condition pulse period (ms): 2000
     test pulse period (ms): 3000
          pulse width (ms): 100
     peak loading force (N): 3000
  estimated Poissons ratio: 0.40
  force load cell cal index: 6  [ Loadcell STC2000 S/N: H30629 +/-6kN ]
   radial LVDT #1 cal index: 12 [ Ind.tensile lvdt1 GTX-1000 S/N.51887 ]
   radial LVDT #2 cal index: 13 [ Ind.tensile lvdt2 GTX-1000 S/N.51888 ]
 core temperature cal index: 1  [ Core temp. PT100 S/N.395 ]
 skin temperature cal index: 2  [ Skin temp. PT100 S/N.396 ]
   archive binary file name: C:\UTMSYS\YAN\UTM17BIN\HUSNUL.BIN
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\UTM17CSV\HUSNUL.CSV
   test variant description:
 measured temperatures (°C): Core=26.4    Skin=26.2
conditioning pulses counted: 5
```

ulse No.	Force (N)	Tot Recov Strain (με)	Tensile Stress (kPa)	RiseTime 0__peak (ms)	LoadTime 0__0 (ms)	Delay at peak (ms)	Resilient Modulus (MPa)
1	2912.8	52.22	291.4	49	91	3	5872
2	2921.6	58.02	292.3	46	89	9	5301
3	2924.5	56.57	292.6	46	89	17	5442
4	2921.6	55.41	292.3	47	89	4	5551
5	2918.6	59.76	292.0	46	89	10	5141
ean	2919.8	56.4	292.1	46.8	89.4	8.6	5462
SD	3.9749	2.546	0.397	1.166	0.8	5.0039	247.1
CV%	0.1361	4.515	0.136	2.491	0.894	58.186	4.524

NDUSTRIAL PROCESS CONTROLS Ltd. Universal Testing Machine (UTM V2.27)

LAMPIRAN F, Hasil Pengujian Wheel Tracking



PEN 60/70
Temperatur 60'c

** WHEEL TRACKING **

*** D A T A ***

NUM. of TIMES	DISP. (mm)
0	0.00
21	0.88
105	1.61
210	0.00
315	0.00
630	1.83
945	2.19
1260	2.47

*** RESULT ***

D0 = 1.35 (mm)
DS = 2250.0 (T./mm)
RD = 0.0187 (mm/m.)

... TEST END

Modif. Pen+BNA
Suhu 60'c

** WHEEL TRACKING **

*** D A T A ***

NUM. of TIMES	DISP. (mm)
0	0.00
21	0.74
105	1.24
210	1.53
315	1.72
630	2.14
945	2.44
1260	2.68

*** RESULT ***

D0 = 1.72 (mm)
DS = 2625.0 (T./mm)
RD = 0.0160 (mm/m.)

... TEST END