

121/FT.EKS.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI NILAI KEKESATAAN PERMUKAAN (SKID RESISTANCE)
ASPAL BETON DENGAN PERBEDAAN INDEKS PENETRASI AKIBAT
PERUBAHAN TEMPERATUR PERMUKAAN**

SKRIPSI

SAPTOYO AJI

0806369594

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

DEPOK

JUNI 2011

121/FT.EKS.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI NILAI KEKESATAAN PERMUKAAN (SKID RESISTANCE)
ASPAL BETON DENGAN PERBEDAAN INDEKS PENETRASI AKIBAT
PERUBAHAN TEMPERATUR PERMUKAAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

SAPTOYO AJI

0806369594

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2011**

121/FT.EKS.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITY OF INDONESIA

**EVALUATION OF SKID RESISTANCE ON ASPHALT CONCRETE
WITH THE DIFFERENCE PENETRATION INDEX DUE TO CHANGES
IN SURFACE TEMPERATURE**

THESIS

**Submitted as one of the requirements needed to obtain the
Engineer Bachelor Degree**

**SAPTOYO AJI
0806369594**

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Saptoyo Aji

NPM : 0806369594

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 Juni 2011

SHEET OF ORIGINALITY

**This script is truly my own work,
and all of the source that I quote or referenced
I stated that all is true.**

Name : Saptoyo Aji

NPM : 0806369594

Signature : 

Date : June 30, 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Saptoyo Aji

NPM : 0806369594

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Evaluasi Nilai Kekesatan Permukaan (Skid Resistance)
Aspal Beton Dengan Perbedaan Indeks Penetrasi Akibat
Perubahan Temperatur Permukaan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Ir. Sigit P. Hadiwardoyo, DEA

Penguji I : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc

Penguji II : Ir. Alan Marino, M.Sc



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

SHEET OF APPROVAL

This final assignment submitted by :

Name : Saptoyo Aji.

NPM : 0806369594

Study Program : Civil Engineering

Title : Evaluation of Skid Resistance on Asphalt Concrete with The
Difference Penetration Index Due to Changes in Surface
Temperature

Have succeeded to be submitted in examiner board and accepted as partial fulfillment needed to obtain Bachelor Degree in Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

Examiner Board

Counselor : Dr. Ir. Sigit P. Hadiwardoyo, DEA



Examiner I : Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc



Examiner II : Ir. Alan Marino, M.Sc



Approved in : Depok

Date : June 30, 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat –Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

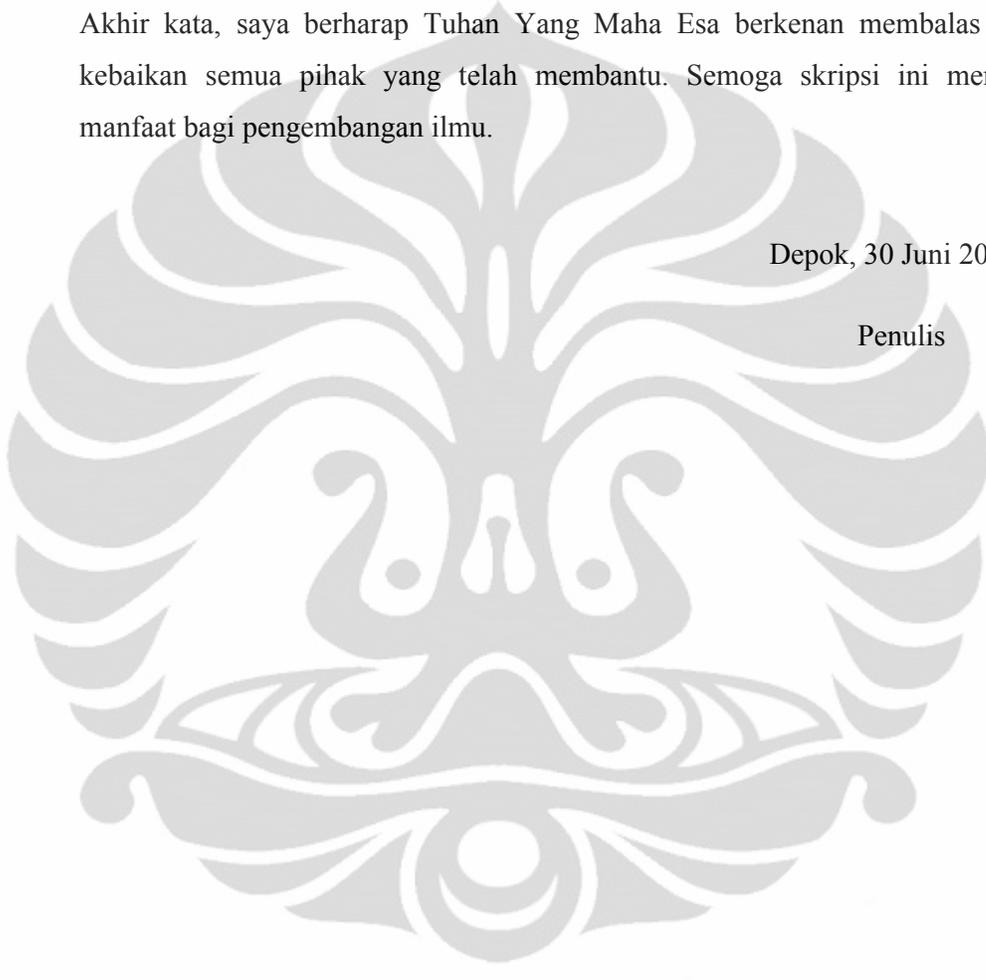
- (1) Dr. Ir. Sigit P. Hadiwardoyo, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Ibu Ir. Martha Leni Siregar, M.Sc dan Bapak Ir. Alan Marino, M.Sc selaku penguji dalam seminar maupun skripsi yang telah memberikan banyak saran agar skripsi ini lebih baik lagi
- (3) Dr. Ir. Elly Tjahjono,DEA. selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Material serta teknisi yang telah memberikan bantuan selama melakukan penelitian.
- (4) Pihak PT. Hutama Prima yang telah banyak membantu dalam memperoleh bahan material yang saya perlukan.
- (5) Kepala Laboratorium UPT Penyelidikan, Pengukuran dan Pengujian Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta beserta staf, yang telah memberi bantuan dan izin untuk menggunakan fasilitas laboratorium selama melakukan pengujian.
- (6) Keluarga saya, Bapak(Alm), Ibu, Kakak-kakak ku Handono, Widya dan Adek Wahyu telah memberikan bantuan dukungan materiil dan moral.
- (7) Teknisi Laboratorium Struktur FTUI : Bapak Jaelani, Bapak Agus, Bapak Apri, Bapak Kusnendar, Abah Hanafi, yang senantiasa memberikan bantuan tenaga dan pikiran selama pengerjaan skripsi ini.
- (8) Bapak Husnul Fikri, partner seperjuangan, atas bimbingan dan kerjasama selama pembuatan skripsi ini.

(9) Sahabat- sahabatku terutama : Anggy, Atmaja, Riko, Achi, Joke, Kartika, Anita, Sari, Afrizal, Wedy, Ayu dan teman-teman ekstensi civil 2008 terimakasih atas dukungan, doa dan telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Juni 2011

Penulis



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

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

Nama : Saptoyo Aji
NPM : 0806369594
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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 :

“Evaluasi Nilai Kekesatan Permukaan (Skid Resistance) Aspal Beton Dengan Perbedaan Indeks Penetrasi Akibat Perubahan Temperatur Permukaan.”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok
Pada tanggal: 30 Juni 2011
Yang menyatakan

(Saptoyo Aji)

ABSTRAK

Nama : Saptoyo Aji

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Evaluasi Nilai Kekesatan Permukaan (Skid Resistance) Aspal Beton dengan Perbedaan Indeks Penetrasi Akibat Perubahan Temperatur Permukaan.

Kekesatan permukaan perkerasan jalan (*skid resistance*) dapat mempengaruhi keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Kekesatan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan untuk menghindari terjadinya slip atau tergelincir, baik di waktu hujan/basah maupun di waktu kering.

Pada penelitian ini dikhususkan untuk pengujian *skid resistance* menggunakan alat *Skid Resistance Tester / British Pendulum Tester*. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kekesatan permukaan aspal beton AC-WC Pen 60/70 dan aspal Buton Natural Asphalt (BNA) blend 75/25 yang memiliki komposisi agregat yang sama. Pengujian dilakukan pada kondisi permukaan basah, dengan variasi temperatur dari suhu 30 °C -55 °C.

Penambahan BNA pada Laston Pen 60/70 yang menyebabkan turunnya nilai penetrasi aspal, memberikan nilai *skid resistance* lebih tinggi dibanding pada Laston Pen 60/70, dan nilai *skid resistance* menurun seiring kenaikan temperatur permukaan.

Kata kunci : Laston AC-WC, Modifikasi BNA, *Skid Resistance Tester*, Temperatur

ABSTRACT

Name : Saptoyo Aji

Studi Program : Civil Engineering Department

Title : Evaluation of Skid Resistance on Asphalt Concrete with The Deference Penetration Index Due to Changes in Surface Temperature.

Pavement skid resistance on the surface can affect the safety and convenience of road users. This value gives the frictional forces on the wheels of vehicles to avoid the occurrence of slip, either in the rain / wet or dry.

In the current study focused for skid resistance testing using tools Skid Resistance Tester / British Pendulum Tester. Analyses were performed to evaluate the level of surface roughness of asphalt concrete AC-WC bitumen 60/70 and 75/25 Buton Natural Asphalt (BNA) blend having the same aggregate composition. Tests carried out on the wet surface conditions with a temperature variation of the temperature of 30 ° C-55 ° C.

The addition of BNA on AC-WC bitumen 60/70 which cause a decline in the value of penetration asphalt, providing skid resistance value is higher than in AC-WC bitumen 60/70, and the skid resistance value decreases with increase in surface temperature.

Key words : Asphalt Concrete, Skid Resistance, Temperature, Buton Asphalt

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Ruang Lingkup Studi.....	3
1.4 Sistematika Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Aspal Beton.....	6
2.2. Agregat	9
2.2.1. Pemakaian Agregat.....	10
2.2.2. Sifat Agregat	11
2.2.3. Berat Jenis Agregat.....	14
2.2.4. Lengkung Fuller	16
2.3. Aspal.....	16
2.3.1. Pembagian Jenis-Jenis Aspal	18

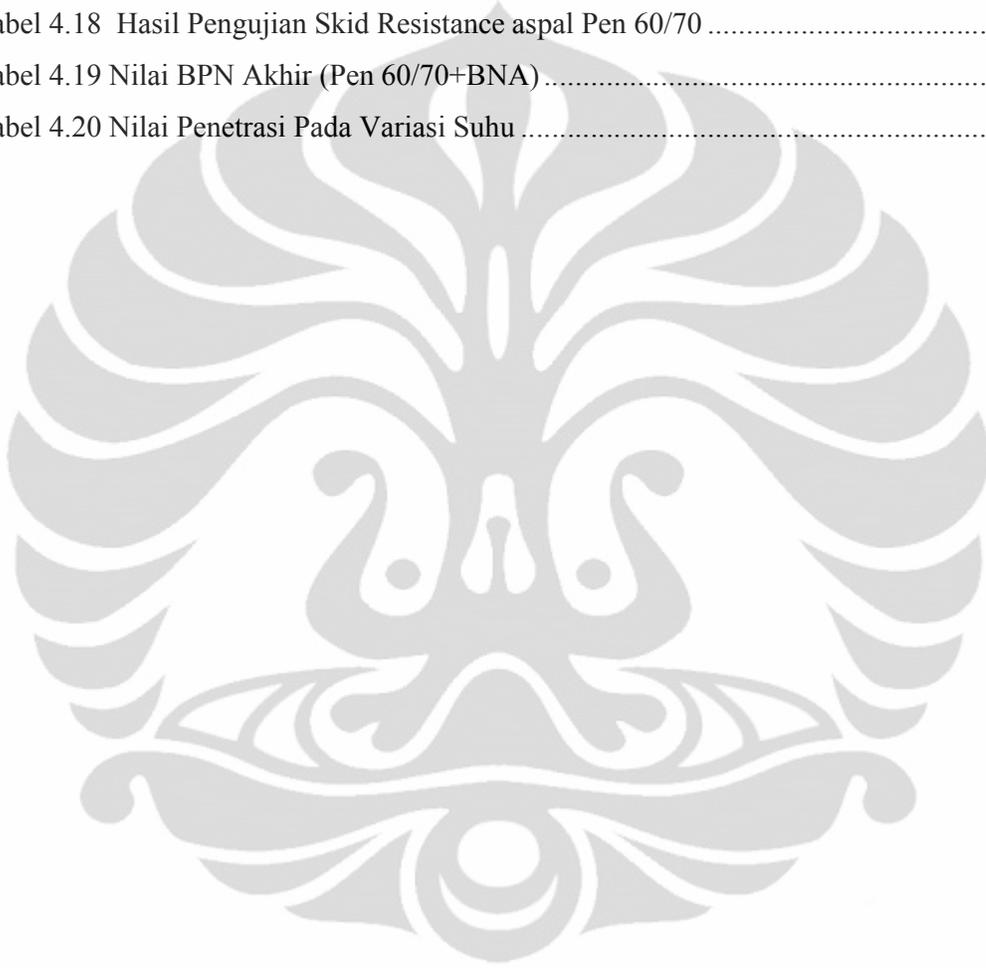
2.3.2. Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan.....	19
2.4. Buton Natural Asphalt (BNA)	19
2.5. Metode Marshall	20
2.6. Refusal Density	23
2.7. Stabilitas Sisa	23
2.8. Kekesatan Permukaan Jalan.....	24
2.9. Pengujian Kekesatan Permukaan	25
2.9.1. Benda Uji Skid Resistance.....	26
2.9.2. Cara Pengujian	27
2.9.3. Pelaporan Hasil Pengujian Skid Resistance	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1. Rencana Kerja	28
3.2. Metode Penelitian.....	29
3.3. Bahan - Bahan Penelitian.....	30
3.4. Cara Pengujian Bahan	31
3.5. Teknik Pengolahan Data.....	31
3.6. Tahapan Pelaksanaan Penelitian	32
3.6.1 Tahapan Persiapan.....	32
3.6.1.1 Pengujian Agregat Kasar dan Halus.....	32
3.6.1.2 Pengujian Aspal.....	45
3.6.2 Tahapan Pembuatan Benda Uji	54
3.6.2.1 Pembuatan Benda Uji Marshall Standart.....	55
3.6.2.2 Pembuatan Benda Uji Refusal Density.....	56
3.6.2.3 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran	57
3.6.2.4 Pembuatan Benda Uji Stabilitas Sisa.....	58
3.6.2.5 Pembuatan Benda Uji Skid Resistance	59
3.6.3 Tahap Pengujian Marshall.....	61
3.6.4 Tahap Pengujian Skid Resistance	63
BAB IV PENYAJIAN DATA DAN ANALISA	67
4.1. Hasil Pengujian Kualitas Material.....	67
4.1.1 Pemeriksaan Agregat Kasar	67
4.1.2 Pemeriksaan Agregat Medium	69

4.1.3 Pemeriksaan Agregat Halus	70
4.1.4 Penggabungan Agregat	70
4.1.5 Pemeriksaan Aspal	71
4.2. Karakteristik Aspal BNA	72
4.3. Perkiraan Kadar Aspal Rencana	74
4.4. Gradasi Agregat	74
4.5. Menentukan Jumlah Kebutuhan Bahan Agregat dan Aspal Benda Uji Marshall	76
4.6. Menentukan Jumlah Kebutuhan Bahan Agregat dan Aspal Benda Uji Skid Resistance	77
4.7. Hasil Analisa Marshall Pada Kadar Aspal Rencana	79
4.8. Karakteristik Marshall AC-WC Modifikasi BNA	87
4.9. Indeks Kekuatan Marshall Sisa	88
4.10. Hasil Pengujian Skid Resistance	89
4.11. Analisa Hasil Pengujian Skid Resistance	92
4.11.1 Laston Pen 60/70	92
4.11.2 Laston Pen 60/70 + BNA	94
4.11.3 Hubungan Skid Resistance Terhadap Temperatur Permukaan Antara Laston Pen 60/70 dan Laston Pen 60/70+BNA	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1. Kesimpulan	99
5.2. Saran	100
DAFTAR REFERENSI	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat –Sifat Campuran Laston AC-WC	8
Tabel 2.2 Ketentuan Sifat –Sifat Campuran Laston Modifikasi	9
Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar	10
Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus	11
Tabel 2.5 Gradasi Agregat Untuk Campuran AC	13
Tabel 2.6 Titik Kontrol Kurva Fuller dan Daerah Larangan AC-WC	16
Tabel 2.7 Tabel Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70	19
Tabel 2.8 Karakteristik Aston BNA Blend 75/25	20
Tabel 2.9 Nilai Resistensi Gesek Minimum yang Disarankan	24
Tabel 2.10 Pengaruh Tekstur Permukaan Terhadap Penurunan Kekesatan	25
Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO Marshall.....	29
Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO Marshall PRD	30
Tabel 3.3 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan Stabilitas Sisa.....	30
Tabel 3.4 Jumlah Benda Uji Skid Resistance	30
Tabel 3.5 Ukuran Agregat Maksimum	40
Tabel 3.6 Ukuran Cawan Contoh Untuk Penetrasi	46
Tabel 3.7 Toleransi Pembacaan Penetrasi Aspal	47
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	67
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Agregat Medium.....	69
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Halus.....	70
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Agregat Gabungan.....	70
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Aspal.....	71
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Viskositas Aspal Pen 60/70	72
Tabel 4.7 Karakteristik Aspal BNA Blend 75/25	73
Tabel 4.8 Perkiraan Nilai Kadar Aspal.....	74
Tabel 4.9 Rancangan Gradasi Laston AC-WC	75
Tabel 4.10 Jumlah Kebutuhan Agregat per Gradasi Untuk 1 Benda Uji Marshall.....	76
Tabel 4.11 Jumlah Kebutuhan Aspal Untuk 1 Benda Pada Setiap Kadar Aspal.....	77
Tabel 4.12 Jumlah Kebutuhan Agregat per Gradasi Untuk 1 Benda Uji Skid Resistance..	78

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal Rencana 2x75 Tumbukan	79
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Marshall pada KAO Mr 5,9%	87
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Marshall Immersion.....	88
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Skid Resistance aspal Pen 60/70	90
Tabel 4.17 Nilai BPN Akhir (Pen60/70)	90
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Skid Resistance aspal Pen 60/70	91
Tabel 4.19 Nilai BPN Akhir (Pen 60/70+BNA).....	91
Tabel 4.20 Nilai Penetrasi Pada Variasi Suhu	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Alat Uji British Pendulum Tester.....	3
Gambar 2.1 Lengkung Fuller.....	15
Gambar 2.2 British Pendulum Test.....	26
Gambar 3.1 Bagan Alir Rencana Kerja Pelaksanaa Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Satu Set Saringan Dilakukan Penggetaran.....	33
Gambar 3.3 Agregat Ditimbang.....	35
Gambar 3.4 Agregat Dioven.....	35
Gambar 3.5 Agregat Ditimbang didalam Air.....	35
Gambar 3.6 Mesin Los Angeles.....	43
Gambar 3.7 Bola Baja Diameter 46,8mm dan Berat 390-445 gr.....	43
Gambar 3.8 Pencampuran Aspal dan Agregat.....	44
Gambar 3.9 Pengamatan Agregat didalam Bejana Gelas.....	44
Gambar 3.10 Alat Penetrasi Aspal.....	47
Gambar 3.11 Aspal di dalam Cincin.....	49
Gambar 3.12 Pengujian Titik Lembek Aspal.....	49
Gambar 3.13 Menimbang Bejana Berisi Aspal.....	50
Gambar 3.14 Mengisi Cetakan dengan Aspal.....	51
Gambar 3.15 Pengujian Daktilitas Aspal Suhu Perendaman.....	51
Gambar 3.16 Saybolt Viscometer.....	52
Gambar 3.17 Pengaturan Suhu Oli.....	53
Gambar 3.18 Pengujian dengan Cleveland Open Cup.....	53
Gambar 3.19 Campuran Aspal dicampur Didalam Asphalt Mixer.....	59
Gambar 3.20 Dipadatkan dengan Roller Compactor.....	60
Gambar 3.21 Hasil Jadi Setelah Dipadatkan.....	60
Gambar 3.22 Benda Uji Siap Dipotong.....	60
Gambar 3.23 Benda Uji Dipototng.....	60
Gambar 3.24 Benda Uji Setelah Dipotong.....	60
Gambar 3.25 Benda Uji dengan Ukuran 12x12x5cm.....	61
Gambar 3.26 Pengujian Marshall.....	61

Gambar 3.27 Persiapan Alat	64
Gambar 3.28 Setting Kedataran Alat dengan Waterpass Pada Unit Alat.....	64
Gambar 3.29 Cek 1 kali Ayunan Bebas	64
Gambar 3.30 Benda Uji Direndam Selama 30 menit Sebelum Diuji.....	65
Gambar 3.31 Pengukuran Suhu Permukaan Benda Uji.....	65
Gambar 3.32 Pengujian Dilakukan Dengan Mengayunkan Bandul	65
Gambar 3.33 Karet Peluncur Menyentuh Panjang Bidang Kontak	66
Gambar 3.34 Jarum Penunjuk Nilai BPN.....	66
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Viscometer dan Temperatur	72
Gambar 4.2 Kurva Gradasi Laston AC-WC.....	75
Gambar 4.3 Grafik Kadar Aspal vs VMA	80
Gambar 4.4 Grafik Kadar Aspal vs Density	81
Gambar 4.5 Grafik Kadar Aspal vs VIM.....	82
Gambar 4.6 Grafik Kadar Aspal vs VFB.....	83
Gambar 4.7 Grafik Kadar Aspal vs Stabilitas.....	83
Gambar 4.8 Grafik Kadar Aspal vs Flow	84
Gambar 4.9 Grafik Kadar Aspal vs VIM PRD	85
Gambar 4.10 Grafik Kadar Aspal vs MQ.....	85
Gambar 4.11 Barchart Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	86
Gambar 4.12 Indeks Kekuatan Sisa Campuran Modif BNA dan Pen 60/70.....	89
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN Pada Benda Uji 1 (PEN60/70).....	92
Gambar 4.14 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN Pada Benda Uji 2 (PEN60/70).....	93
Gambar 4.15 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN Pada Benda Uji 3 (PEN60/70).....	93
Gambar 4.16 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN Gabungan Benda Uji (PEN60/70)..	94
Gambar 4.17 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN Pada Benda Uji 1 (Modif BNA).....	94
Gambar 4.18 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN Pada Benda Uji 2 (Modif BNA).....	95
Gambar 4.19 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN Pada Benda Uji 3 (Modif BNA).....	95
Gambar 4.20 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN Gabungan Benda Uji (Modif BNA)	96
Gambar 4.21 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN (Pen60/70 & Modif BNA)	96
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Temperatur vs Penetrasi (PEN 60/70&Modif BNA)	98

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Lampiran Hasil Pengujian Agregat

Lampiran 2. Lampiran Hasil Pengujian Aspal

Lampiran 3. Lampiran Hasil Pengujian Marshall

Lampiran 4. Lampiran Rumus-Rumus



BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat. Hal ini disebabkan aspal beton mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan bahan-bahan lain, diantaranya harganya yang relatif lebih murah dibanding beton, kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi dan dapat dibuat dari bahan-bahan lokal yang tersedia dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca. Aspal beton atau *asphaltic concrete* adalah campuran dari agregat bergradasi menerus dengan bahan bitumen. Kekuatan utama aspal beton ada pada keadaan butir agregat yang saling mengunci dan sedikit pada pasir/filler/bitumen sebagai mortar.

Dengan banyaknya persediaan asbuton di Indonesia, selain itu aspal beton dapat juga dimodifikasi dengan BNA (*Buton Natural Asphalt*), dimana 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. BNA (*Buton Natural Asphalt*), adalah hasil pemurnian Asbuton dengan kadar bitumen 55-60% yang memungkinkan hal-hal positif dari Asbuton dapat dioptimalkan.

Pengalaman para pembuat aspal beton mengatakan bahwa campuran ini sangat stabil tetapi sangat sensitif terhadap variasi dalam pembuatannya dan perlu tingkat *quality control* yang tinggi dalam pembuatannya, bila potensinya ingin penuh terealisasi (Didik Purwadi, 1995). Di samping kecukupan *workability* (sifat kemudahan untuk dikerjakan) ada empat sifat dasar aspal beton yang harus diperhatikan dalam merencanakan campuran aspal beton, yaitu:

1. Stabilitas.
2. Durabilitas (keawetan).
3. Fleksibilitas.
4. Mempunyai tahanan terhadap selip (skid resistance).

Kekesatan permukaan perkerasan jalan dapat mempengaruhi keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Kekesatan merupakan kondisi tahanan gesek antara permukaan jalan dan ban kendaraan sehingga tidak mengalami selip atau tergelincir baik pada kondisi basah (waktu hujan) ataupun kering. Syarat utama lapis perkerasan jalan adalah aman, nyaman, dan ekonomis (Sukirman, 1992). Aman berarti perkerasan jalan harus cukup kuat memikul berat kendaraan serta menahan gaya gesek dan keausan karena roda kendaraan. Nyaman berarti permukaan jalan harus rata sehingga tidak menimbulkan guncangan bagi pengguna jalan. Kekasaran permukaan (surface roughness), kekesatan (skid resistance), kemiringan permukaan dan sifat pemantulan sinar merupakan syarat fungsional permukaan lapis perkerasan. Lapisan permukaan juga berfungsi sebagai lapis aus dan kedap (wearing course) agar jalan tahan terhadap kerusakan akibat air dan hujan. Salah satu jenis aspal beton yaitu Laston lapis aus, dikenal dengan nama laston AC-WC. Laston AC-WC merupakan lapisan yang terletak paling atas perkerasan dan berkontak langsung dengan roda kendaraan sehingga kekesatan permukaan sangat erat kaitannya dengan jenis aspal beton lapis aus ini.

Sejalan dengan program pemerintah untuk terus meningkatkan penggunaan Asbuton, maka dilakukan pemanfaatan Asbuton BNA dengan menitik beratkan pada pengujian terhadap sifat kekesatan lapis permukaan perkerasan jalan Aspal Beton (LASTON) AC-WC dengan pengujian yang dilakukan dilaboratorium, benda uji aspal beton menggunakan agregat lokal dan aspal Pertamina penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikatnya, dengan membandingkan nilai kekesatan dari masing-masing campuran aspal dengan tambahan BNA maupun tanpa BNA. Alat yang digunakan untuk pemeriksaan kekesatan adalah *British Pendulum Tester (BPT) / Skid Resistance Tester*.



Gambar 1. Alat uji British Pendulum Tester (BPT)

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengkaji karakteristik Marshall campuran aspal beton penetrasi 60/70 dan aspal beton penetrasi 60/70 modifikasi dengan BNA
2. Membahas pengukuran dan analisis tingkat kekesatan permukaan perkerasan dengan alat British Pendulum Tester (BPT) pada sampel aspal beton AC-WC di laboratorium.
3. Menganalisis dan membandingkan kekesatan antara LASTON campuran BNA (Buton Natural Asphalt) dengan tanpa campuran BNA.
4. Menganalisis perubahan nilai kekesatan jalan akibat perubahan temperatur pada tiap campuran aspal.

1.3. RUANG LINGKUP STUDI

Mengingat keterbatasan waktu, bahan, peralatan dan tenaga yang tersedia, maka perlu dibatasi masalah untuk lebih menitik beratkan pada inti yang dituju, antara lain:

1. Agregat kasar, sedang dan halus diambil dari hasil pengolahan batu (stone crusher) Ex. Rumpin Bogor
2. Bahan aspal menggunakan Aspal Cevron Penetrasi 60/70 ex Singapura dan BNA (Buton Natural Aspal)

3. Pengujian material agregat dan aspal dilakukan dengan prosedur pengujian mengacu kepada SNI (Standart Nasional Indonesia), yang dilengkapi dengan ASTM (American Society for Testing and Material), AASHTO (*American Asociation Of State Highway and Transportation Officials*), dan *British Standart (BS)*.
4. Perencanaan campuran aspal beton menggunakan Metode Marshall dan pendekatan kepadatan mutlak untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari Lapis Aspal Beton (Laston) AC-WC.
5. Pengujian Dengan Alat Marshall meliputi :
 - Analisa kadar aspal optimum terhadap campuran
 - Pengujian fisik meliputi pengukuran tebal, penimbangan di udara, penimbangan dalam kondisi jenuh permukaan kering dan penimbangan dalam air.
 - Pengujian mekanis meliputi stabilitas dan kelelahan
 - Pengujian Refusal Density
 - Pengujian Stabilitas Sisa
6. Gradasi campuran menggunakan gradasi fuller campuran AC -WC.
7. Pengujian tingkat kekesatan permukaan perkerasan (Skid Resistance) dengan menggunakan alat British Pendulum Tester (BPT) sesuai dengan SNI 4427: 2008
8. Variasi temperatur suhu yang digunakan dalam analisis dimulai dari 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55° C.
9. Pengujian dilakukan pada perkerasan jenis LASTON Pen60/70 dan LASTON + BNA.

1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan hasil studi ini terdiri atas enam BAB, yaitu sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, tujuan, ruang lingkup dan sistematika penulisan

BAB II STUDI PUSTAKA

Membahas tentang pengertian umum aspal, agregat dan pengujian marshall dan *skid resistance*.

BAB III METODOLOGI STUDI

Membahas tentang studi literatur, pengambilan dan pengolahan *sample*, pengujian propertis material, perencanaan campuran aspal, perencanaan benda uji, pembuatan benda uji, pengujian benda uji, dan analisis data.

BAB IV PELAKSANAAN PENGUJIAN

Membahas tentang langkah-langkah dalam persiapan bahan, cara pembuatan benda uji, pengujian benda uji, pengolahan data hasil pengujian.

BAB V ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Membahas tentang analisis hasil pengujian dan bentuk trend dari tiap jenis perkerasan LASTON Pen 60/70 dan LASTON + BNA terhadap temperatur.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil studi yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal Beton (*Asphalt Concrete/AC*)

Aspal Beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Aspal beton (*Asphalt Concrete*) merupakan salah satu jenis perkerasan lentur yang umum digunakan di Indonesia. Aspal beton merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*), dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Pembuatan lapis beton aspal dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung terukur yang dapat melindungi konstruksi di bawahnya.

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

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 kelelahan (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 (*fatigue 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.

g. Kemudahan pelaksanaan (*workability*)

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

Berdasarkan fungsinya aspal beton (Asphalt Concrete/AC) dapat dibedakan atas :

a. Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC)

AC – WC merupakan lapis permukaan yang langsung berhubungan dengan beban kendaraan yang lewat di atasnya. Sehingga lapisan ini harus mampu mendukung dan menyebarkan beban yang diterima ke lapisan dibawahnya. Selain itu lapisan ini harus kedap air agar dapat melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.

Lapis Aus (*Wearing Course*), memiliki sifat:

1. Sebagai lapisan aus, yaitu lapisan yang semakin lama semakin tipis karena langsung bersentuhan dengan roda-roda kendaraan lalu lintas, dan dapat diganti lagi dengan yang baru.

2. Menyediakan permukaan jalan yang aman dan kesat (anti selip).
3. Tebal minimum AC-WC adalah 5cm

b. Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)

1. Menerima beban langsung dari lalu lintas dan menyebarkannya untuk mengurangi tegangan pada lapisan bawah lapisan jalan.
2. Menyediakan permukaan jalan yang baik dan rata sehingga nyaman dilalui.
3. Tebal minimumnya adalah 5cm

c. Asphalt Concrete – Base Course (AC – BC)

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah, yang berfungsi :

1. Lapis pendukung bagi lapis permukaan
2. Pemikul beban horizontal dan vertikal
3. Lapis perkerasan bagi lapis pondasi bawah
4. Tebal minimumnya adalah 6cm

Tabel 2.1 Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC WC)

Sifat-sifat campuran		Laston AC-WC
Penyerapan aspal (%)	Max	1,2
Jumlah tumbukan per bidang		75
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,5
	Min	5,5
Rongga diantara agregat (VMA) (%)	Min	15
Rongga terisi aspal (%)	Min	65
Stabilitas Marshall (%)	Min	800
	Max	-
Pelelehan (mm)	Min	3
	Max	-
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selam 24 jam, 60°C.	Min	75
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2,5

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2008

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Di modifikasi (*AC-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	1000		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 (<i>refusal</i>)	Min	2.5		

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2008

2.2 Agregat

Agregat mempunyai peranan yang penting dalam perkerasan jalan. Berdasarkan persentase volume agregat menempati 75 -85% dari volume lapis perkerasan atau berdasarkan berat agregat menempati 90 -95% dari berat lapis perkerasan. Untuk itu dalam mempelajari lapis perkerasan kita terlebih dahulu harus mengetahui sifat dari agregat penyusunnya. Karena daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga oleh sifat agregat dan hasil campuran dengan material lain. [Sukirman, Silvia. 2003].

Butir-butir agregat adalah bahan utama yang langsung menerima beban roda kendaraan sehingga berfungsi sebagai pendukung stabilitas mekanis. Bentuk butir agregat berpengaruh pada mutu suatu campuran. Bentuk butir agregat yang menyudut dan mempunyai banyak bidang pecah (*cubical*) memberikan *internal friction* dan *interlocking* antar butir agregat yang baik sehingga kestabilan suatu campuran diharapkan makin tinggi. Pemakaian butir-butir agregat dengan permukaan kasar lebih disukai karena semakin kasar permukaan agregat, semakin tinggi nilai stabilitas dan keawetan suatu campuran.

Universitas Indonesia

2.2.1 Pemakaian Agregat

Dalam pemakaiannya untuk perkerasan jalan, batu pecah lebih baik dibanding dengan batu alami, karena sifat saling menguncinya (*interlocking*) sangat besar, sehingga agregat lebih stabil dan lebih tahan terhadap deformasi. Agregat dalam campuran beraspal terdiri dari :

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah mineral agregat yang tertahan pada ayakan No. 8 (ukuran 2,36 mm). Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal tunggal. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10 %. Agregat kasar harus juga mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan. Agregat kasar mempunyai peranan yang sangat besar dalam membentuk kinerja campuran beraspal panas.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium Sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95 %
Angularitas(kedalaman dari permukaan <10 cm)	SNI 03-6877-2002	95/90(*)
Angularitas(kedalaman dari permukaan 10 cm)		80/75 (*)
Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D-4791	Maks. 10%
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks, 1%

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2008

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 8 (ukuran 2,36 mm). Agregat halus dapat terdiri dari butir-butir batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya, agregat halus harus keras, bersih dari

Universitas Indonesia

kotoran sampah, bersudut, berbidang kasar, dan bebas dari gumpalan -gumpalan lempung. Agregat halus digunakan untuk mengisi rongga diantara agregat k kasar. Fungsi utama agregat halus pada campuran beraspal adalah mempertahankan stabilitas dan mengurangi terjadinya deformasi permanen dengan cara saling mengunci dan saling gesek diantara partikel agregat halus.

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standart	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Maks. 50%
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 8%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan 10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min 40

Sumber : Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, April 2005

3. Filler

Filler (mineral pengisi) dapat berupa abu batu, batu kapur, semen, kapur, debu, dan material halus lainnya yang tidak kurang dari 75 % lolos melalui saringan No. 200. Bahan-bahan yang digunakan sebagai *filler* sebaiknya tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dan *filler* yang digunakan harus dalam keadaan kering, dimana kadar air maksimum yang diperbolehkan adalah sebesar 1%.

2.2.2 Sifat Agregat

Agregat yang akan dipakai pada perkerasan harus memperhatikan sifat-sifat agregat yaitu:

1. Gradasi

Berdasarkan penggunaannya di lapangan, baik untuk penggunaan lapisan agregat tanpa bahan pengikat aspal maupun untuk campuran beraspal, agregat tersebut dibedakan atas gradasinya. Gradasi adalah distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses penggunaan di lapangan.

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 akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi (campuran tersebut relatif kaku karena *interlocking* dari butiran), berat volume besar dan skid resistance yang tinggi. Campuran agregat ini digunakan untuk campuran beraspal pada *Asphalt Concrete* (AC).

b. Agregat Bergradasi Senjang (*gap graded*);

Sering disebut juga dengan agregat bergradasi buruk (*poorly graded*), yaitu merupakan campuran agregat dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit sekali. 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 *Hot Rolled Sheet* (HRS).

c. Agregat Bergradasi Terbuka (*open graded*);

Agregat yang digunakan adalah agregat dengan ukuran yang sama dan mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Agregat dengan gradasi ini menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat stabilitas campuran rendah (sehingga campuran tersebut cukup fleksible), dan skid resistance yang tinggi. Stabilitas campuran tersebut didasarkan pada hubungan butir agregat. Gradasi agregat ini digunakan untuk campuran beraspal pada *Split Mastic Asphalt* (SMA).

d. Agregat Seragam (*uniform graded*);

Agregat yang digunakan adalah dengan ukuran yang sama. Agregat dengan gradasi ini akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang dan berat volume kecil. Lapisan perkerasan yang menggunakan gradasi ini seperti yang digunakan untuk agregat pokok pada Lapis Penetrasi Makadam

Gradasi agregat untuk Aspal Beton spesifikasi yang ditetapkan oleh Pustran Balitbang PU, 2004, seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Gradasi Agregat untuk Campuran *Asphalt Concrete (AC)*

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos		
ASTM	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-Base
1 ½"	37,5			100
1"	25		100	90-100
¾"	19	100	90-100	Maks. 90
½"	12,5	90-100	Maks. 90	
3/8"	9,5	Maks. 90		
No. 4	4,75			
No. 8	2,36	28-58	23-49	19-45
No. 16	1,18			
No. 30	0,6			
No. 200	0,075	4-10	4-8	3-7
Daerah Larangan				
No. 4	4,75	-	-	39,5
No. 8	2,36	39,1	34,6	26,8-30,8
No. 16	1,18	25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-24,1
No. 30	0,6	19,2-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No. 50	0,3	15,5	13,7	11,4

(Sumber : Pustran Balitbang PU, 2004)

2. Kebersihan

Agregat yang mengandung substansi asing merusak harus dihilangkan sebelum digunakan dalam campuran perkerasan, seperti tumbuh - tumbuhan, partikel halus dan gumpalan lumpur. Hal ini disebabkan substansi asing dapat mengurangi daya lekat aspal terhadap batuan sehingga mempengaruhi perkerasan.

3. Kekuatan dan Kekerasan

Kekuatan agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur atau pecah oleh pengaruh mekanis atau kimiawi. Agregat yang digunakan untuk lapisan perkerasan haruslah mempunyai daya tahan terhadap degradasi (pemecahan) yang mungkin timbul selama proses pencampuran, pemadatan, repetisi beban lalu lintas dan disitegrasi (penghancuran) yang terjadi selama masa pelayanan jalan tersebut.

4. Bentuk permukaan

Bentuk permukaan agregat mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut. Partikel berbentuk kubus dan bersudut tajam memberikan *interlock*/saling mengunci yang lebih besar sehingga agregat bentuk

kubus ini paling baik digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.

5. Tekstur permukaan

Tekstur permukaan yang kasar dan kasat akan memberikan gaya gesek yang lebih besar sehingga dapat menahan gaya-gaya pemisah yang bekerja pada batuan. Selain itu tekstur kasar juga memberikan adhesi lebih baik antar aspal dan batuan. Batuan yang halus lebih mudah terselimuti aspal namun tidak bisa menahan kelekatan aspal dengan baik. Bila tekstur permukaan semakin kasar umumnya stabilitas dan durabilitas campuran akan semakin tinggi.

6. Porositas

Porositas berpengaruh besar terhadap nilai ekonomis suatu campuran lapis perkerasan. Semakin besar porositas batuan maka aspal yang digunakan semakin banyak. Hal ini disebabkan kemampuan absorpsi dari batuan terhadap aspal juga semakin tinggi.

7. Kelekatan terhadap aspal

Daya lekatan dengan aspal dipengaruhi juga oleh sifat agregat terhadap air. Granit dan batuan yang mengandung silika merupakan agregat bersifat *hydrophilic* yaitu agregat yang cenderung menyerap air. Agregat demikian tidak baik untuk digunakan sebagai bahan campuran dengan aspal, karena mudah terjadi *stripping* yaitu lepasnya lapis aspal dari agregat akibat pengaruh air.

2.2.3 Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Berat jenis agregat sangat penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal dan juga untuk menentukan banyaknya pori-pori.

Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak. Ada 3 macam berat jenis aspal yang dapat ditentukan berdasarkan AASHTO T. 85 -81, yaitu :

1. Berat Jenis Bulk

Berat jenis *bulk* adalah berat jenis dimana yang diperhitungkan adalah seluruh volume pori (rongga) yang ada (volume pori yang dapat diresapi air dan volume pori yang tidak dapat diresapi air).

2. Berat Jenis Apparent

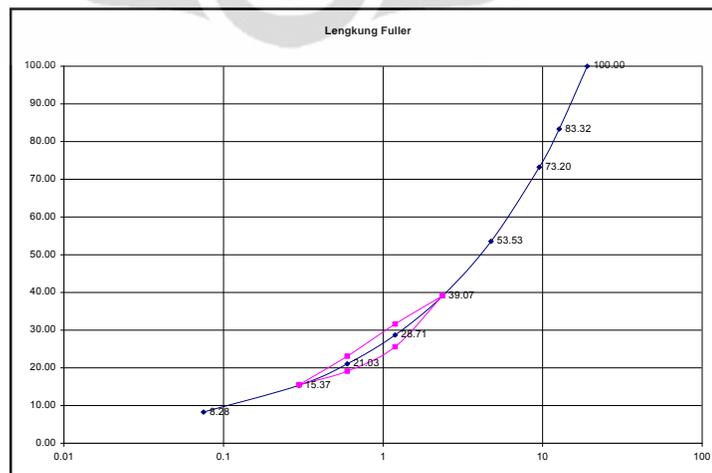
Apabila volume yang diperhitungkan adalah volume partikel dan bagian yang dapat diresapi air, maka disebut berat jenis *apparent*. Kegunaan berat jenis *apparent* dalam perhitungan apabila dianggap aspal dapat meresapi seluruh bagian yang dapat diresapi air.

3. Berat Jenis Efektif

Bilamana aspal yang digunakan secara normal hanya akan meresapi sebagian dari rongga yang dapat diresapi oleh air. Dengan demikian dalam perhitungan campuran sebaiknya digunakan campuran aspal berdasarkan berat jenis efektif

2.2.4 Lengkung Fuller

Untuk menentukan apakah gradasi dari agregat yang kita pakai bergradasi baik atau buruk maka dapat diperiksa dengan mempergunakan rumus Fuller. Dengan rumus ini kita dapat memplot gradasi agregat kedalam grafik lengkung Fuller. Gradasi agregat yang baik menurut spesifikasi adalah gradasi agregat yang terletak diatas lengkung Fuller, tetapi apabila tidak dapat dicapai maka dapat digunakan gradasi yang memotong lengkung Fuller satu kali pada fraksi medium antara ukuran 4.75 mm sampai 2.36 mm. Dimana rumus lengkung Fuller yaitu $[P=100 \times (d/D)^{0.45}]$. dengan P = persen lolos saringan dengan bukaan saringan d mm, d = ukuran agregat yang diperiksa, D = ukuran maksimum agregat yang terdapat dalam campuran (mm). Gambar lengkung Fuller dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Lengkung Fuller

Gradasi agregat yang dibatasi titik control Fuller dan daerah larangan untuk campuran AC-WC dapat dilihat dalam Tabel 2.6

Tabel 2.6 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

2.3 Aspal

Aspal dikenal sebagai suatu bahan atau material yang bersifat viskos atau padat, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, berwarna hitam atau coklat, mempunyai daya lekat (adhesi), dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Fungsi aspal pada konstruksi jalan adalah untuk mengikat butiran batu, mengisi rongga antara butir-butir agregat sehingga melindungi terhadap masuknya air ke dalam batu dan memberikan semacam bantalan kepada batuan.

Banyak aspal dalam campuran perkerasan berkisar 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume dari campuran yang terdiri dari agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambah lainnya

Aspal yang digunakan sebagai campuran perkerasan jalan hendaknya memenuhi syarat :

a. Sifat adhesi dan kohesi

Aspal memiliki adhesi dapat diartikan bahwa aspal mampu mengikat agregat sampai didapatkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Sedangkan aspal yang memiliki kohesi adalah aspal yang memiliki ikatan didalam molekul aspal untuk mempertahankan agregat tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan.

b. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah bahan yang mempunyai sifat termoplastis, akan menjadi keras atau lebih kental jika temperaturnya berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperaturnya bertambah. Sifat ini yang perlu diperhatikan agar aspal tetap memiliki ketahanan terhadap cuaca, misalnya konsistensi tidak banyak berubah akibat cuaca, sehingga kondisi permukaan jalan, misalnya konsistensi gesek atau *skid resistance*, memenuhi kebutuhan lalulintas serta tahan lama.

c. Daya tahan (*durability*)

Aspal dikatakan memiliki daya tahan apabila mempunyai kemampuan mempertahankan sifat aslinya dari pengaruh cuaca selama umur pelayanan.

d. Kekakuan

Sifat kekakuan aspal sangat penting, karena aspal yang mengikat agregat akan menerima beban yang cukup besar dan berulang-ulang. Pada proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas atau *viskositas* bertambah tinggi. Peristiwa perapuhan terus terjadi setelah masa pelaksanaan selesai. Selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi oleh aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan aspal yang terjadi dan demikian juga sebaliknya.

e. Sifat pengerjaan (*workability*)

Aspal yang dipilih akan memiliki *workability* yang cukup dalam pelaksanaan pekerjaan pengaspalan. Hal ini mempermudah pelaksanaan penghamparan dan pemadatan untuk memperoleh lapisan yang padat dan kuat.

Aspal harus memiliki beberapa persyaratan agar dapat diterima sebagai bahan pengikat pada perkerasan jalan lentur, yaitu harus elastis terhadap deformasi, tahan terhadap *thermal stress*, memiliki sifat adhesi yang baik dan yang terpenting tidak terlalu sensitif terhadap perubahan temperatur.

2.3.1. Pembagian Jenis – Jenis Aspal

Jenis aspal yang digunakan sebagai bahan lapisan perkerasan jalan terdiri atas :

a. Aspal alam

Aspal alam adalah aspal yang didapat disuatu tempat di alam dan dapat langsung digunakan atau dengan sedikit proses pengolahan. Aspal alam terdapat di Pulau Buton (Sulawesi Tenggara), Swiss, Perancis, dan Amerika Latin. Menurut sifat kekerasannya, aspal alam terbagi menjadi :

1. Batuan (*rock asphalt*) atau aspal gunung, contoh : aspal buton (Asbuton)
2. Plastis (*Trinidad Lake Asphalt/TLA*) atau aspal danau
3. Cair (*Bermuda Lake Asphalt/BLA*)

Sedangkan menurut tingkat kemurniannya terbagi menjadi :

1. Murni dan hampir murni, contoh : BLA
2. Tercampur dengan mineral, contoh : Asbuton, TLA

b. Aspal buatan

Aspal buatan (minyak) adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi.

2.3.2. Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan.

Aspal yang digunakan sebagai material Perkerasan Jalan berfungsi sebagai:

1. Bahan Pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat serta antar sesama aspal.
2. Bahan Pengisi, mengisi rongga antara butir agregat dan pori-pori yang ada didalam butir agregat itu sendiri.

Untuk dapat mengisi kedua fungsi aspal dengan baik, maka aspal haruslah memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik, serta pada saat dilaksanakan mempunyai tingkat kekentalan tertentu.

Penggunaan aspal pada perkerasan jalan dapat melalui dicampurkan pada agregat sebelum dihamparkan (prahampar), seperti lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat-agregat yang lebih halus (pascahampar), seperti perkerasan pe netrasi macadam atau pelaburan.

Dengan adanya aspal dalam campuran diharapkan diperoleh lapisan perkerasan yang kedap air sehingga mampu melayani arus lalu lintas sesama masa pelayan jalan. Oleh karena itu aspal haruslah mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, dan mempunyai sifat adhesi dan kohesi yang baik. [Sukirman, Silvia. 2003].

Tabel 2.7 Tabel Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan
Penetrasi (25°C 5 detik); 100 gr; 5 Detik; 0,1 mm	SNI 06 - 2456 -1991	60 - 70
Titik Lembek	SNI 06 - 2434 -1991	48 - 58
Titik Nyala, °C	SNI 06 - 2433-1991	Min 200
Daktilitas (25°C, 5 cm)	SNI 06 - 2432 -1991	Min 100
Berat Jenis (25°C)	SNI 06 - 2441 -1991	Min 1,0
Kelarutan dalam TrichlorEthylen, %berat	RSNI M - 04 -2004	Min 99
Penurunan berat (dengan TFOT), %berat	SNI 06 - 2440 -1991	Max 0,8
Penetrasi setelah penurunan berat, % asli	SNI 06 - 2456 -1991	Min 54
Daktlitas setelah penurunan berat, % asli	SNI 06 - 2432 -1991	Min 50

Sumber : Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, April 2005

2.4 Buton Natural Asphalt (BNA)

BNA (*Buton Natural Asphalt*) (*sumber PT. Aston Adhi Jaya*), 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 menaikkan stabilitas dinamis campuran dan mengurangi kemungkinan releveling.

Kandungan filler hirophobic dalam jumlah yang optimal serta tersebar merata dalam BNA akan membentuk mastic aspal yang kuat dan lebih kedap air diharapkan menaikkan ketahanan campuran terhadap pengaruh negative air. Dengan karakteristik tersebut BNA sangat cocok digunakan sebagai modifier aspal minyak.

Dengan 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.

Tabel 2.8 Karakteristik Aston BNA Blend dengan Ratio: 75/25

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

Sumber: BNA. PT.Aston Adhi Jaya

2.5. Metode Marshall

Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan keelehan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flowmeter untuk mengukur keelehan plastis atau flow.

Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 6.35 cm dipersiapkan di laboratorium, dalam cetakan benda uji dengan menggunakan *hammer* (penumbuk) dengan berat 10 pon (4.536 kg) dan tinggi jatuh 18 inci (45.7 cm) dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/detik. Dari proses persiapan

benda uji sampai pemeriksaan dengan alat Marshall, diperoleh data sebagai berikut :

- 1) Kadar aspal, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka di belakang koma. Kadar aspal dapat dinyatakan terhadap campuran atau terhadap berat agregat. Dalam perhitungan umumnya menggunakan berat aspal terhadap campuran, sedangkan dalam pembuatan benda uji umumnya terhadap agregat. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam persiapan benda uji. Jadi dalam pembuatan benda uji berat agregatnya tetap sedangkan berat aspalnya bervariasi.
- 2) Berat volume, dinyatakan dalam gr/cm^3 , adalah perbandingan berat campuran (gram) berbanding dengan volume campuran (cm^3). Nilai ini digunakan sebagai angka kepadatan di laboratorium.
- 3) VIM atau persen rongga dalam campuran, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka di belakang koma. VIM merupakan indikator dari durabilitas, kemungkinan *bleeding*. Jumlah kandungan rongga, adalah perbandingan antara volume ruang udara dengan jumlah volume dari contoh yang dipadatkan, dinyatakan dalam persen (%).
- 4) VMA atau persen rongga diantara agregat, dinyatakan dalam bilangan bulat, VMA bersama dengan VIM merupakan indikator dari durabilitas.
- 5) Rongga terisi aspal, yaitu perbandingan antara volume aspal dalam campuran dan volume ruang kosong didalam bahan, dinyatakan dalam persen (%). Bila jumlah agregat yang mengisi volume contoh adalah 80 %, maka ruang kosong yang tersedia untuk aspal adalah 20 %. Bila aspal mengisi 75 %, ini artinya aspal tersebut mengisi 75 % dari ruang kosong tersebut.
- 6) Stabilitas, dinyatakan dalam bilangan bulat. Stabilitas menunjukkan kekuatan, ketahanan terhadap terjadinya alur (*rutting*). Stabilitas, ialah jumlah muatan yang dibutuhkan untuk menghancurkan suatu briket percobaan dari campuran aspal dimana campuran aspalnya dan cara menempatkannya sesuai dengan peraturan-peraturan pada percobaan yang telah ditentukan. Nilai stabilitas dapat dibaca langsung dari arloji stabilitas yang terdapat pada alat uji. Besaran nilai stabilitas adalah kilogram, newton atau lbs.
- 7) Kelelehan plastis (*flow*), dinyatakan dalam mm atau 0.01 inch. *Flow* dapat merupakan indikator terhadap lentur. *Flow*, adalah jumlah perubahan bentuk dari

contoh yang diukur dalam perseratusan inch atau dalam milimeter, pada saat beban maksimum. Nilai *flow* dapat dibaca pada alat uji marshall.

- 8) Hasil bagi Marshall, merupakan hasil bagi stabilitas dan *flow*. Dinyatakan dalam kg/mm. Merupakan indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan.
- 9) Penyerapan aspal, persen terhadap berat campuran, sehingga diperoleh gambaran berapa kadar aspal efektifnya.
- 10) Tebal lapisan aspal (*film* aspal), dinyatakan dalam mm. *Film* aspal merupakan petunjuk tentang sifat durabilitas campuran.
- 11) Kadar aspal efektif, dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka dibelakang koma.

Untuk memudahkan dalam perhitungan dengan metode Marshall, hasil pengujian dibuat tabel. Untuk menentukan persentase aspal optimum dari tabel tersebut, dibuat tujuh buah grafik, yaitu grafik hubungan antara :

- 1) Persentase aspal dalam campuran dengan stabilitas
- 2) Persentase aspal dalam campuran dengan *flow*
- 3) Persentase aspal dalam campuran dengan berat volume
- 4) Persentase aspal dalam campuran dengan persen rongga dalam campuran (VIM)
- 5) Persentase aspal dalam campuran dengan persen rongga terisi aspal
- 6) Persentase aspal dalam campuran dengan persen rongga terhadap campuran
- 7) Persentase aspal dalam campuran dengan hasil bagi Marshall

Grafik dibuat dengan garis lengkung yang tidak patah-patah (*smooth*). Dari ketujuh grafik tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai spesifikasi. Kemungkinan dari beberapa grafik tersebut ada yang tidak memenuhi syarat, untuk itu perlu diperbaiki bahannya.

Secara garis besar pengujian Marshall meliputi: persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan perhitungan sifat volumetric benda uji. Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Jumlah benda uji yang disiapkan.
2. Persiapan agregat yang akan digunakan.

3. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
4. Persiapan campuran aspal beton.
5. Pemadatan benda uji.
6. Persiapan untuk pengujian Marshall.

2.6 Refusal Density

Kepadatan mutlak (*refusal density*) atau kepadatan maksimum dari suatu campuran aspal yang dipadatkan, adalah masa persatuan volume termasuk rongga contoh uji yang dipadatkan sampai mencapai kepadatan mutlak sesuai dengan metode pengujian.

Kerusakan berupa deformasi plastis pada campuran beraspal bergradasi menerus dengan rongga dalam campuran kurang dari 2,5% terjadi dengan cepat. Oleh karena itu tujuan perencanaan kepadatan Refusal adalah untuk menjamin bahwa campuran beraspal padat masih dicapai rongga dalam campuran paling sedikit 2,5%.

Pengembangan pemadatan telah dilakukan untuk tujuan perencanaan campuran beraspal, pada jalan yang akan menerima pemadatan ekstra oleh lalu lintas dimana rongga dalam campuran harus dicapai minimum. Metode pemadatan di laboratorium dikembangkan menggunakan pemadat marshall, Metode ini cukup baik untuk perencanaan campuran pada jalan dengan lalu-lintas berat. Pada pengujian ini kadar aspal yang dipakai untuk pembuatan benda uji *refusal density* adalah pada persen rongga terhadap campuran $6\% \pm 0.5$

2.7 Stabilitas Sisa

Pemeriksaan stabilitas sisa diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban pada kondisi temperatur terpanas dilapangan dalam waktu 24 jam. Maka sebelum dilakukan pemeriksaan benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 24 jam dengan temperatur 60°C di dalam *water bath*. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat marshall, dan beban diberikan kepada benda uji.

Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari *proving ring* kemudian dikalikan dengan nilai kalibrasi dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Syarat menurut spesifikasi Bina Marga tahun 2005 bulan April edisi VI adalah nilai stabilitas sisa 75% dari nilai stabilitas benda uji terhadap kadar aspal optimumnya. Kadar aspal yang dipakai untuk stabilitas sisa yaitu dari kadar aspal optimum hasil plot grafik marshall dan refusal density

2.8 Kekesatan Permukaan Perkerasan Jalan

Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tergelincir ataupun slip.

Permukaan jalan memiliki kekesatan cukup bila tahanan gesek antara ban dan permukaan jalan tersedia cukup dan permukaan tidak licin sehingga pada kondisi kering atau basah tidak mengakibatkan ban yang halus mudah selip. Permukaan perkerasan yang basah lebih berbahaya bagi kendaraan dengan permukaan ban halus daripada kondisi permukaan kering. Nilai tahanan gesek minimum yang disarankan (kondisi basah) disajikan pada Tabel 2.9

Tabel 2.9. Nilai Resistensi Gesek Minimum yang Disarankan (Kondisi Basah)

Kategori	Tipe lokasi	Angka kekesatan
A	Lokasi-lokasi yang sulit seperti : 1. Bundaran 2. Belokan berjari-jari < 150 m pada jalan bebas hambatan. 3. Kemiringan, 1:20 atau lebih curam, dengan panjang > 100m 4. Lengan pendekat simpang bersinyal pada jalan bebas hambatan.	65
B	Jalan utama/cepat, menerus dan jalan kelas 1 dan jalan berlalulintas berat diperkotaan (> 2000 kendaraan per hari)	55
C	Lokasi-lokasi lainnya	45

Sumber : *Operation Instruction of Wessex Skid Tester* (2000), *Overseas Road Notes* 18 (1999).

Menurut Willey (1935) pada waktu kering semua jalan mempunyai tahanan gesek yang besar, sedangkan pada musim dingin bila permukaan jalan tertutup lapisan lumpur, salju, es, atau lainnya maka tahanan gesek tidak tersedia cukup. Tahanan gesek dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti variasi bentuk profil permukaan dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi cuaca dan kondisi

mengemudi. Tahanan gesek diperlukan untuk memberikan tambahan gaya traksi, gaya pengereman, kendali arah dan tahanan gaya ke samping. Kekesatan permukaan jalan bergantung juga pada jenis tekstur perkerasan. Tekstur yang kasar memberikan kekuatan yang lebih dibandingkan permukaan yang licin. Perkerasan jalan perlu direncanakan dengan memperhatikan tekstur permukaan agar tersedia kekesatan yang memadai. Penelitian yang dilakukan TRRL (1977) menunjukkan bahwa tekstur permukaan mempengaruhi kekesatan pada perubahan kecepatan antara 50 km/jam - 130 km/jam (Tabel 2.10).

Tabel 2.10 Pengaruh Tekstur Permukaan terhadap Penurunan Kekesatan

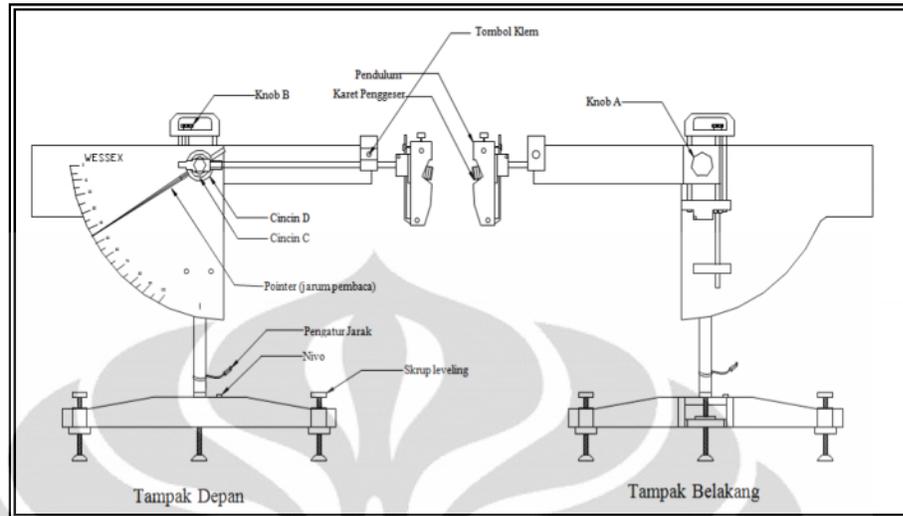
Kedalaman Tekstur		Penurunan kekesatan dengan perubahan kecepatan dari 50 km/jam - 130 km/jam (%)
Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku	
2,0	0,8	0
1,5	0,7	10
1,0	0,5	20
0,5	0,4	30

Sumber : TRRL Report No. SR.340, tahun 1977

2.9 Pengujian Kekesatan Permukaan (British Pendulum Test)

Salah satu alat untuk mengetahui / menguji kekesatan permukaan suatu lapisan aspal beton adalah Skid Resistance Tester (British Pendulum Tester). BPT merupakan alat uji jenis bandul (pendulum) dinamis, digunakan untuk mengukur energi yang hilang pada saat karet di bagian bawah telapak bandul menggesek permukaan yang diuji. Alat ini dimaksudkan untuk pengujian pada permukaan yang datar di lapangan atau laboratorium, dan untuk mengukur nilai pemolesan (polishing value) pada benda uji berbentuk lengkung.

Satuan nilai kekesatan yang diukur dengan alat BPT adalah British Pendulum Number (BPN), baik untuk permukaan uji datar atau nilai pemolesan untuk benda uji lengkung. Nilai ini mempresentasikan sifat-sifat hambatan atau gesekan (frictional)



Gambar 2.2 British Pendulum Test

2.9.1. Benda Uji Skid Resistance

Bentuk benda uji :

1. Di Lapangan

Benda uji berupa permukaan perkerasan yang akan diuji di lapangan harus bebas dari butiran-butiran lepas dan disiram dengan air bersih. Peralatan untuk benda uji yang posisinya tidak mendatar atau tanjakan atau turunan, dapat disiapkan sehingga mendatar dengan mengatur sekrup sehingga kepala bandul menyesuaikan kedudukannya dengan bebas di atas permukaan.

2. Di Laboratorium

Panel uji harus bersih dan bebas dari butiran-butiran lepas serta cukup kokoh sehingga tidak bergerak akibat beban bandul yang diayunkan.

- a) Contoh uji laboratorium harus mempunyai bidang permukaan uji paling sedikit berukuran 89 mm x 152 mm.
- b) Benda uji untuk pemolesan harus mempunyai bidang permukaan uji paling sedikit berukuran 45 mm x 90 mm, berbentuk lengkung dengan diameter 406 mm.

2.9.2. Cara Pengujian

Cara uji ini terdiri atas alat penguji jenis pendulum yang dipasang karet peluncur standar untuk menentukan sifat-sifat hambatan atau gesekan (frictional) atau kekesatan permukaan perkerasan yang diuji.

Sebelum pengujian, permukaan yang diuji dibersihkan dan dibasahi dengan air secukupnya. Pendulum dipasang karet peluncur pada posisi menyentuh bidang kontak permukaan perkerasan yang akan diuji.

Batang pendulum diangkat dan diletakkan pada posisi terkunci. Batang pendulum dilepaskan dan biarkan karet peluncur menggesek atau menyinggung permukaan yang diuji, dan segera tangkap kembali pada saat bandul kembali berayun ke arah sebaliknya.

Jarum indikator menunjuk angka berskala yang tertera pada piringan skala ukur dengan satuan BPN. Makin kesat permukaan yang diuji makin besar pembacaan BPN. Setiap pengujian dilakukan empat kali bila menggunakan karet alam (karet British), atau lima kali bila menggunakan karet sintetis (AASHTO M 261).

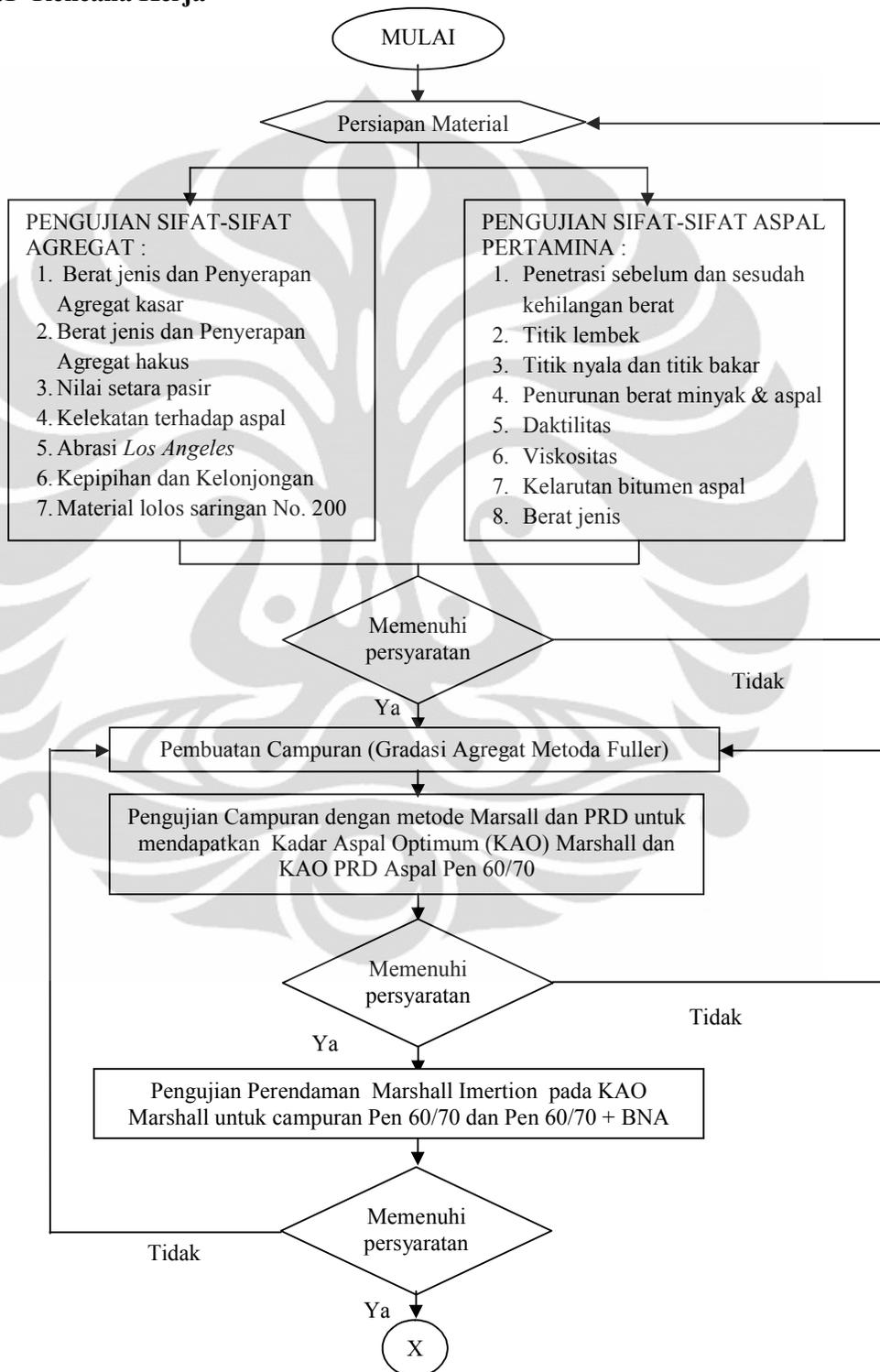
2.9.3. Pelaporan Hasil Pengujian Skid Resistance

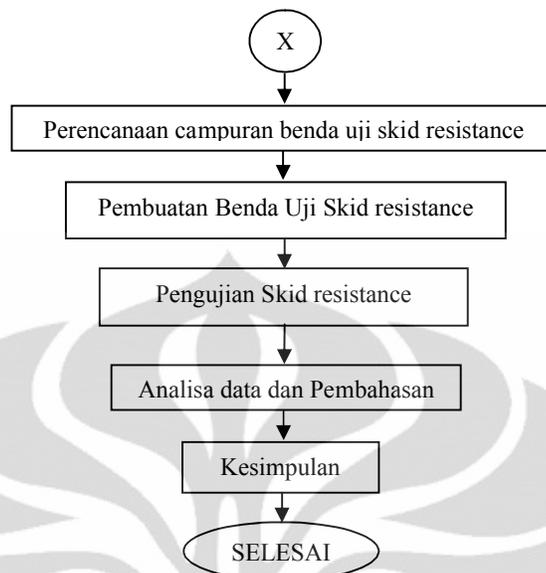
Hal-hal yang perlu di catat dan dilaporkan :

- a. Nilai BPN atau nilai pemolesan dan rata-ratanya yang belum dikoreksi dan telah dikoreksi terhadap variasi temperatur untuk setiap pengujian permukaan uji
- b. Temperatur permukaan uji
- c. Jenis, umur, kondisi, tekstur, dan lokasi permukaan yang diuji
- d. Jenis dan sumber agregat untuk pengujian nilai pemolesan
- e. Jenis dan umur karet peluncur.

BAB III METODOLOGI

3.1 Rencana Kerja





Gambar 3.1 Bagan alir rencana kerja pelaksanaan Tugas Akhir

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi data dengan melakukan pengujian di Laboratorium Struktur dan Material Universitas Indonesia dengan 2 jenis campuran benda uji yaitu LASTON PEN 60/70 dan LASTON modif BNA pada uji marshall dan skid resistance test, dapat dirinci seperti pada Tabel 3.1 dan 3.2

Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO Marshall

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
4,5 %	3
5 %	3
5,5 %	3
6 %	3
6,5 %	3
7 %	3
Total	18

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji untuk Menentukan KAO Marshall PRD

Variasi	Jumlah Benda Uji
5 %	1
5,5%	1
6 %	1
Total	3

Tabel 3.3. Jumlah Benda Uji untuk Menentukan Stabilitas Sisa

No	Jenis Pengujian	Jumlah Benda uji	
		Laston AC-WC Pen 60/70	Laston AC-WC Pen 60/70 Modif. BNA
1	Marshall Standar	3	3
2	Marshall Rendaman(24jam)	3	3
	Jumlah	6	6
	Total	12 Buah	

Tabel 3.4 Jumlah Benda Uji Skid Resistance

Jenis Benda Uji	Jumlah Benda Uji						Jumlah Total
	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	
Laston PEN60/70	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	18 buah
Laston PEN60/70 Modif BNA	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	18 buah

3.3 Bahan – bahan Penelitian

- Jenis aspal : Cevron PEN 60/70 ex Singapura
- Agregat kasar /*screening* : Ex Rumpin, Bogor
- Agregat halus/abu batu : Ex. Rumpin, Bogor

3.4 Cara Pengujian Bahan

Pertama-tama pengujian yang dilakukan meliputi pengujian fisik bahan-bahan penyusun campuran Marshall untuk mengetahui karakteristik campuran. Metode pelaksanaan penelitian laboratorium uji bahan dilakukan dengan cara pengujian bahan penyusun campuran seperti pengujian agregat kasar, agregat halus, aspal. Pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian fisis dan mekanis. Untuk pengujian Marshall meliputi pengujian stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga dalam campuran, rongga dalam agregat, rongga terisi aspal, *refusal density* serta stabilitas sisa.

Setelah diketahui sifat campuran memenuhi persyaratan, selanjutnya dilakukan pengujian kekesatan permukaan (*skid resistance*) Laston AC-WC dengan menggunakan alat *British Pendulum Tester*, dengan begitu nilai kekesatan permukaan setiap benda uji dapat diketahui dari pembacaan jarum penunjuk angka.

3.5 Teknik Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari pengujian *skid resistance* dianalisis dengan cara mencari rata-rata dari setiap variasi kemudian dibandingkan antara benda uji satu dengan yang lain. Gambaran sifat sekumpulan data dapat disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Parameter statistik yang digunakan untuk analisis data adalah (Sudjana, 1992) :

- Rata-rata (*Mean*, \bar{X}); Sejumlah n data kuantitatif dapat dinyatakan dengan variable $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$. Simbol rata-rata untuk sampel adalah \bar{X} (baca : eks garis).

$$\text{Rumus : } \bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- Rentang data (*Range*, R); Ukuran variasi yang paling mudah ditentukan adalah rentang data dengan rumusnya : $R = \text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}$.
- Simpangan Baku (*Standard Deviation*, S); Untuk sampel digunakan simbol S . Jika terdapat sampel berukuran n dengan data $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$ dan

rata-rata \bar{X} . Simpangan baku S adalah harga akar positif dari variansi.

Rumusnya adalah : $\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}}$

Hasil analisis statistik (nilai rentang, rata-rata dan deviasi standar) disusun dalam tabel dan grafik kemudian dilakukan evaluasi dan pembahasan untuk diambil kesimpulan.

3.6 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap yaitu tahap persiapan, tahap pembuatan benda uji dan tahap pengujian. Adapun uraian dari tiap tahapan adalah sebagai berikut :

3.6.1. Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan ini, dilakukan pengujian awal terhadap bahan-bahan yang akan digunakan (agregat kasar dan halus, aspal maupun *filler*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat bahan tersebut, apakah memenuhi syarat atau tidak.

3.6.1.1. Pengujian Agregat Kasar Dan Agregat Halus

Contoh agregat untuk pengujian diambil dari tempatnya dilakukan dengan cara *quartering*, dimana agregat yang akan diuji diambil dari beberapa tempat dengan cara acak.

Untuk pengambilan benda uji agregat kasar ambil dari beberapa tumpukkan agar benda uji tadi dapat mewakili, tetapi untuk benda uji agregat halus sebaiknya mengambil benda uji dari dalam tumpukkan, karena dari dalam tumpukkan tersebut tidak akan terjadi pemisahan butiran.

a. Analisa saringan agregat halus dan kasar

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan.

- Peralatan :

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,2 % dari berat benda uji.

- 2) Satu set saringan ; 31.5 ; 19.0 ; 12.5 ; 9.5 ; 4.75 ; 0.60 ; 0.30 ; 0.075 mm
- 3) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.

- Prosedur pengujian :

Pertama, benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, sampai berat tetap, kemudian benda uji melewati susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar berada diatas. Saringan diguncangkan dengan tangan atau mesin pengguncang (*sieve shaker*) selama 10-15 menit. Terakhir menimbang agregat yang terdapat pada masing-masing ayakan.

- Perhitungan :

Menghitung prosentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.



Gambar 3.2 Satu set saringan dilakukan penggetaran

b. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering-permukaan jenuh (*saturated surface dry = SSD*), berat jenis semu (*apparent*) dan prosentase berat air yang dapat diserap oleh agregat kasar.

1. Berat jenis (*bulk specific gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
2. Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) adalah perbandingan antara berat agregat kering-permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.

4. Penyerapan air (absorpsi) adalah prosentase berat air yang diserap pori terhadap berat kering.

- Peralatan :

- 1) Keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm dengan kapasitas 5 kg.
- 2) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai dengan pengujian. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap.
- 3) Timbangan ketelitian 0,1% kapasitas 5 kg yang dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- 4) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- 5) Alat pemisah Contoh.
- 6) Saringan No.4 (4,75 mm).

- Benda uji :

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan no. 4 (4,75 mm) yang diperoleh dari alat pemisah contoh, sebanyak kurang 5 kg.

- Prosedur pengujian :

Merendam benda uji pada suhu kamar 24 jam, lalu mengeluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (SSD), untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu. Menimbang benda uji kering permukaan jenuh (Bt), kemudian meletakkan benda uji dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya dalam air (Ba).

Ukur suhu air untuk penyelesaian perhitungan pada suhu standar (25°C). Masukkan benda uji kedalam oven pada suhu 105°C sampai 4 jam. Selanjutnya mendinginkan benda uji pada suhu kamar 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gr (Bk).



Gambar 3.3 Agregat ditimbang



Gambar 3.4 Agregat dioven



Gambar 3.5 Agregat ditimbang didalam air

- Perhitungan :

1. Berat jenis $= \frac{Bk}{Bt - Ba}$
2. Berat jenis SSD (JPK) $= \frac{Bt}{Bt - Ba}$
3. Berat Jenis semu $= \frac{Bk}{Bk - Ba}$
4. Penyerapan air $= \frac{Bt - Bk}{Bk} \times 100\%$

Bk = berat benda uji kering oven (gr).

Bt = berat benda uji kering permukaan jenuh (gr).

Ba = berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air (gr).

c. Berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering-permukaan jenuh (*saturated surface dry* = SSD), berat jenis semu (*apparent*) dan penyerapan air dari agregat halus.

1. Berat jenis (*bulk specific gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
2. Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) adalah perbandingan antara berat agregat kering-permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.

4. Penyerapan air (absorpsi) adalah prosentase berat air yang diserap pori terhadap berat agregat kering.

- Peralatan :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr mempunyai kapasitas 1 kg.
2. Piknometer dengan kapasitas 500 ml.
3. Kerucut terpancung (*cone*), diameter bagian atas (40±3) mm, diameter bagian bawah (90±3) mm dan tinggi (75±3) mm, dibuat dari logam tebal minimum 0,8 mm.
4. Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340±15) gr. Diameter permukaan penumbuk (25±3) mm.
5. Saringan no. 4 (4,75 mm).
6. Oven dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110±5)°C.
7. Pengukur suhu dengan ketelitian 1°C.
8. Talam.
9. Bejana tempat air.
10. Desikator.
11. Pompa hampa udara/*vacum pump*.

- Benda uji :

Benda ujinya adalah agregat yang lolos ayakan no. 4 diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.

- Prosedur pengujian :

Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu (110±5)°C sampai berat tetap, kemudian merendam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam. Membuang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas talam, keringkan sampai tercapai permukaan kering-permukaan jenuh, dapat dilakukan dengan cara dioven maupun digoreng.

Memeriksa keadaan ssd dengan mengisi benda uji kedalam kerucut terpancung, kemudian dipadatkan sebanyak 25 kali. Mengangkat kerucut, lihat keadaan benda uji apabila benda uji runtuh tetapi masih berbentuk kerucut maka benda uji sudah mencapai keadaan ssd. Setelah tercapai keadaan ssd, mengambil benda uji sebanyak 500gr (B ssd) masukkan kedalam piknometer.

Memasukkan air suling sebanyak 90% dari isi piknometer, putar sambil diguncang-guncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya. Untuk mempercepat dapat digunakan pompa hampa udara atau dengan cara merebus piknometer. Merendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan pada suhu standar 25°C. Selanjutnya menambahkan air pada batas tertentu. Menimbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (Bt).

Tahap berikutnya mengeluarkan benda uji, keringkan dalam oven pada suhu (110±5)°C sampai berat tetap, kemudian dinginkan dengan cara diangin-anginkan menggunakan kipas atau menggunakan desikator. Setelah benda uji dingin lalu ditimbang (Bk). Terakhir menentukan berat piknometer berisis air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu stabdar 25°C.

• Perhitungan :

$$1. \quad \text{Berat jenis} = \frac{Bk}{B + Bssd - Bt}$$

$$2. \quad \text{Berat jenis SSD (JPK)} = \frac{Bssd}{B + Bssd - Bt}$$

$$3. \quad \text{Berat Jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$$

$$4. \quad \text{Penyerapan air} = \frac{Bssd - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Bk = berat benda uji kering oven (gr).

B = berat piknometer berisi air (gr)

Bssd = berat benda uji kering permukaan jenuh (gr).

Bt = berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air (gr).

d. Berat isi agregat kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat isi lepas dan berat isi padat agregat kasar.

- Peralatan :

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr.
- 2) Talam.
- 3) Tongkat pemadat diameter 15 mm panjang \pm 60 cm.
- 4) Mistar perata.
- 5) Wadah baja.
- 6) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110\pm 5)^\circ\text{C}$.

- Benda uji :

Benda uji adalah agregat kasar yang telah di oven pada suhu $(110\pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap.

- Prosedur pengujian :

1. Berat isi lepas

Menimbang silinder dan mencatat beratnya (W_1), kemudian memasukan benda uji dengan hati-hati supaya tidak terjadi pemisahan butir dari ketinggian maksimum 5 cm diatas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata, selanjutnya menghitung berat benda uji ($W_3=W_2-W_1$).

2. Berat isi padat

Menimbang silinder dan mencatat beratnya (W_1), kemudian mengisi silinder/wadah dengan benda uji dalam 3 lapisan yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukkan secara merata. Pada pemadatan tongkat harus masuk sampai lapisan bagian bawah setiap lapisan. Meratakan permukaan benda uji dan timbang (W_2), selanjutnya menghitung berat benda uji ($W_3=W_2-W_1$).

- Perhitungan :

Berat isi agregat : $\frac{W_3}{V}$ Kg/liter

$$\text{Voids} = \frac{[(S \times W) - M]}{(S \times W)} \times 100\%$$

Ket :

- S = Berat Jenis agregat
 M = Berat Isi Agregat (gr/cm^3)
 W = *Density* (kerapatan)
 = $0,998 \text{ gr/cm}^3$

e. Berat isi agregat halus

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat isi lepas dan berat isi padat agregat halus.

- Peralatan :
Sama dengan peralatan pengujian berai isi agregat kasar.
- Benda uji :
Benda uji adalah agregat halus yang telah di oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap.
- Prosedur penelitian:
Sama dengan prosedur pengujian berat isi agregat kasar.
- Perhitungan :
Sama dengan perhitungan pengujian berat isi agregat kasar.

f. Kadar lumpur ayakan 200 mesh

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan no. 200 mesh dengan cara pencucian.

- Peralatan :
 1. Saringan no. 16 dan 200.
 2. Wadah pencuci benda uji berkapasitas cukup besar sehingga pada waktu diguncangkan benda uji atau air pencuci tidak tumpah.
 3. Oven dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
 4. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram.
 5. Talam berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat.

- Benda uji :

Berat contoh agregat kering minimum tergantung pada ukuran agregat maksimum sesuai daftar no. 1 pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Ukuran Agregat Maksimum

Ukuran agregat maksimum		Berat contoh agregat kering minimum (gram)
mm	Inch	
2,36	No. 8	100
1,18	No. 4	500
9,5	1/8	2000
19,1	3/4	2500
38,1	1½	5000

- Persiapan benda uji
 - i. Memasukkan contoh agregat lebih kurang 1,25 kali berat benda uji kedalam talam, mengeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
 - ii. Menyiapkan benda uji dengan berat (W_1) sesuai daftar no. 1

- Prosedur pengujian :

Mengambil benda uji/agregat halus dari lapangan seberat 100 gram (W_1), kemudian memasukkan benda uji kedalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam. Mengguncang-guncangkan wadah dan tuangkan air cucian ke dalam susunan saringan no. 16 dan no. 200. Pada waktu menuang air cucian, usahakan agar bahan-bahan yang kasar tidak ikut tertuang.

Memasukkan air pencuci baru, dan mengulangi pekerjaan diatas sampai air cucian menjadi jernih. Semua bahan yang tertahan saringan no. 16 dan no. 200 dikembalikan ke dalam wadah. Memasukkan seluruh bahan tersebut kedalam talam yang telah diketahui beratnya dan mengeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai beratnya tetap. Terakhir setelah kering, menimbang dan mencatat beratnya (W_2).

- Perhitungan :

$$\text{Jumlah bahan saringan no. 200} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

W1 = berat benda uji semula (gr).

W2 = berat bahan tertahan saringan no.200 yang telah dikeringkan (gr).

g. Kotoran Organik/Organic Impuritis

Pemeriksaan ini untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton aspal. Kotoran organik adalah bahan-bahan organik yang terdapat dipasir dan menimbulkan efek merugikan.

- Peralatan :

- a. Botol gelas tidak berwarna mempunyai tutup dari karet, gabus atau lainnya yang tidak larut dalam larutan NaOH, dengan isi sekitar 350 ml.
- b. Standar warna (*organic plate*).
- c. Larutan NaOH (3%).

- Benda uji :

Abu batu 115 ml (kira-kira 1/3 isi botol)

- Prosedur penelitian :

Benda uji dimasukkan kedalam botol sampai mencapai 1/3 tinggi botol, kemudian menambahkan larutan NaOH 3%, setelah dikocok isinya harus mencapai kira-kira 2/3 isi botol. Menutup botol, dikocok lagi dengan kuat-kuat dan dibiarkan selama 24 jam. Setelah 24 jam kita bandingkan warna cairan yang terlihat diatas benda uji dengan warna standar.

- Perhitungan :

Benda uji dinyatakan mengandung zat organik jika setelah 24 jam warnanya lebih tua dari warna standar (coklat tua).

h. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin abrasi Los Angeles.

- Peralatan :

Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.

- Benda uji :

Agregat kasar/*screening* alami dan buatan (PET) sebanyak 5 kilogram.

- Prosedur pengujian :

Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu dari 7 (tujuh) cara berikut :

- a. Cara A : Gradasi A, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan putaran 500 putaran.
- b. Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
- c. Cara C : Gradasi C, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 4,75 mm. Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
- d. Cara D : Gradasi D, bahan lolos 4,75 mm sampai tertahan 2,36 mm. Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.
- e. Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- f. Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- g. Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.

Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles, kemudian memutar mesin dengan kecepatan 30 samapai dengan 33 rpm. Jumlah putaran gradasi A, B, C, dan D 500 putaran dan untuk gradasi E, F, dan G 1000 putaran. Setelah selesai pemutaran, mengeluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no.12 (1,7 mm); butiran yang tertahan diatasnya dicuci bersih. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

Gambar 3.6 Mesin *Los Angeles*Gambar 3.7 Bola baja diameter $\pm 46,8$ mm dan berat 390 - 445 gr.

- Perhitungan :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Dimana :

- a = berat benda uji semula, gram
- b = berat benda uji tertahan saringan No.12, gram

i. **Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal**

Untuk menentukan presentase daya lekat agregat terhadap aspal setelah mengalami proses perendaman selama 16-18 jam pada suhu normal yang ditentukan secara visual

- Peralatan :

Timbangan, wajan, labu ukur(gelas), Saringan no 6,30 mm dan 9,50 mm, kompor, oven

- Bahan uji :

Agregat (split), aspal pen 60/70, air suling

- Prosedur pengujian :

Ayak benda uji/agregat kasar (split) dengan menggunakan saringan 9.5mm, dan ayakan 6,3 mm lalu ambil yang tertahan 6,3 mm. Cuci agregat tersebut dengan air bersih, kemudian keringkan didalam oven selama 24 jam sampai berat kering oven. Panaskan aspal sampai cukup cair dengan suhu kompor 130°C. Keluarkan agregat/benda uji dari oven lalu masukan agregat tersebut ke dalam wajan

Universitas Indonesia

sebanyak 100 gram lalu masukan aspal dengan berat 5 gram (5% dari berat agregat) dan mencampurkannya dengan agregat ke dalam wajan. Aduk benda uji dengan sendok sambil dipanaskan menggunakan kompor sampai seluruh permukaan butiran agregat terselimuti aspal lalu masukkan ke dalam labu ukur, dinginkan. Diamkan benda uji dalam ruangan dengan suhu 25°C selama kurang lebih 21 menit, kemudian masukkan air suling secara perlahan sampai terendam minimal sebanyak 400 ml. Diamkan selama 18 jam, pada suhu ruang 25°C . Amati dan perkirakan persentase luas permukaan yang masih terselimuti aspal.



Gambar 3.8 Pencampuran aspal dan agregat



Gambar 3.9 Pengamatan agregat di dalam bejana gelas

j. Pengujian Ketahanan Agregat terhadap pengaruh tumbukan (*Aggregate Impact Value*)

Untuk menentukan sifat agregat berdasarkan ketahanannya akibat pengaruh tumbukan untuk bahan campuran beraspal.

- Peralatan :

Timbangan, oven, *Impact Machine*, Ayakan Standar

- Bahan uji :

Agregat bersih dan dalam keadaan kering yaitu dihasilkan dari pencucian dan pengeringan oven pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Dengan ukuran butir lolos saringan # 12,5 mm dan tertahan # 9,5 mm

- Prosedur pengujian :

Cuci benda uji/agregat kemudian keringkan di oven pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Benda uji (agregat) disaring dengan ayakan # 12,5 mm dan # 9,5 mm. Isi tabung penakar (Mold Penakar) dengan agregat yang lolos ayakan # 12,5 mm dan tertahan # 9,5 mm dalam 3 bagian (lapis). Masing-masing bagian ditumbuk dengan batang penumbuk sebanyak 25 tumbukan (tinggi jatuh penumbuk 50 mm

di atas permukaan agregat). Ratakan permukaan agregat dalam tabung penakar (apabila masih ada rongga, isi dengan kelebihan agregat). Timbang berat tabung penakar yang berisi agregat, dan tentukan beratnya (A gram). Masukkan agregat kedalam tabung benda uji (Mold Sampel), kemudian tumbuk lapisan permukaannya dengan batang penumbuk sebanyak 25 tumbukan. Atur tinggi jatuh alat penumbuk 380 mm di atas permukaan agregat. Putar counter agar menunjukkan angka 0 (nol). Lakukan penumbukan sebanyak 15 kali dengan interval waktu tidak kurang dari 1 detik (palu penumbuk diangkat dengan cara menarik handle dan kanan secara bersamaan, ketika menyentuh pelatuk atas maka pelu pemadat akan jatuh secara otomatis). Tumpahkan agregat tadi kedalam cawan dengan cara mengetuk tabung benda uji, dan bersihkan agregat yang tersisa dengan kuas. Cuci benda uji/agregat tertahan no.8 (# 2,36 mm), kemudian keringkan di oven pada suhu 110 ± 5 °C sampai berat tetap. Timbang benda uji/agregat (B gram). Hitung Prosentase benda uji (agregat) yang lolos ayakan no.8 (# 2,36 mm) sampai 1 desimal.

✓ Agregat Impact Value atau % lolos # 2,36 mm (no.8) = $\frac{A-B}{A} \times 100\%$

- A = berat total agregat semula (gram)
- B = berat total agregat tertahan # 2,36 mm atau no.8 (gram)

3.6.1.2. Pengujian Aspal

Pengujian aspal terdiri dari :

a. Pengujian Penetrasi Aspal

- Tujuan :

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (*solid* atau *semi solid*) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu kedalam bitumen pada suhu tertentu.

- Peralatan :

- 1) Alat penetrasi yang dapat menggerakkan pemegang jarum naik turun tanpa gesekan dan dapat mengukur sampai 0,1 mm.
- 2) Pemegang jarum seberat ($47,5 \pm 0,05$) gram yang dapat dilepas dengan mudah dari alat penetrasi untuk peneraan.

- 3) Pemberat ($50 \pm 0,05$) gr dan ($100 \pm 0,05$) gr digunakan untuk pengukuran penetrasi dengan beban 100 gr dan 200 gr.
- 4) Jarum penetrasi dibuat dari *stainless steel* mutu 440 C atau HRC 54 sampai 60 ujung jarum harus berbentuk kerucut terpancung.
- 5) Cawan contoh terbuat dari logam atau gelas berbentuk silinder yang rata-rata berukuran seperti pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Ukuran Cawan Contoh Untuk Penetrasi

Penetrasi	Diameter	Dalam
Dibawah 200	55 mm	35 mm
200 sampai 300	70 mm	45 mm

Sumber Bina Marga, 1976, No.1/MN/BM/1976

- 6) Tempat air untuk benda uji ditempatkan di bawah alat penetrasi. Tempat tersebut mempunyai isi tidak kurang dari 350 ml dan tinggi yang cukup untuk merendam benda uji tanpa bergerak.
- 7) Pengukur waktu digunakan untuk pengukuran penetrasi dengan tangan diperlukan *stopwatch* dengan skala pembagian terkecil 0,1 detik atau kurang dan kesalahan tertinggi 0 detik per 60 detik. Untuk pengukuran penetrasi dengan alat otomatis kesalahan alat tersebut tidak boleh melebihi 0,1 detik.
- 8) Termometer.

- Prosedur pengujian :

Tahap awal kita memanaskan contoh aspal serta mengaduknya hingga cukup cair untuk dapat dituangkan. Waktu pemanasan tidak boleh melebihi 30 menit, lalu aduk perlahan-lahan agar udara tidak masuk ke dalam contoh. Setelah contoh cair merata kita tuang ke dalam tempat contoh (cawan) dan diamkan hingga dingin. Dibuat dua buah benda uji, kemudian menutup benda uji agar bebas dari debu dan diamkan pada suhu ruang selama 1-1,5 jam.

Meletakkan benda uji yang terdapat pada cawan dalam bejana yang berisi air pada suhu yang ditentukan $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Mendinginkan dalam bak tersebut selama 0,5 jam, lalu memeriksa pemegang jarum agar jarum dapat dipasang dengan baik dan

bersihkan jarum penetrasi dengan bensin atau kerosin kemudian keringkan jarum tersebut dengan lap bersih dan pasanglah jarum pada pemegang jarum. Meletakkan pemberat 50 gram di atas jarum untuk memperoleh beban sebesar $(100 \pm 0,1)$ gram, lalu memindahkan cawan dari bejana ke bawah alat penetrasi.

Menurunkan jarum perlahan-lahan sehingga jarum tersebut menyentuh permukaan benda uji, kemudian mengatur angka 0 (nol) di arloji penetrometer, sehingga jarum penunjuk berimpit dengannya. Melepaskan pemegang jarum dan serentak menjalankan *stopwatch* selama jangka waktu $(5 \pm 0,1)$ detik, catat bacaan pada skala div, kemudian memutar arloji penetrometer dan membaca angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk.

Membulatkan hingga angka 0,1 mm terdekat, kemudian melepaskan jarum dari pemegang jarum dan menyiapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya. Melakukan pekerjaan di atas tidak kurang dari 6 kali satu buah untuk benda uji yang sama dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak satu sama lain dan dari tepi dinding lebih dari 1 cm .



Gambar 3.10 Alat Penetrasi aspal

- Perhitungan :

Data-data yang diperoleh dari pembacaan angka penetrasi tidak boleh melampaui ketentuan-ketentuan seperti pada **Tabel 3.7**.

Tabel 3.7 Toleransi Pembacaan Penetrasi Aspal.

Hasil Penetrasi	0-49	50-149	150-240	200
Toleransi	2	4	6	8

b. Pengujian titik lembek aspal

- Tujuan :

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal berkisar antara 30°C sampai 200°C. Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu mendesak turun suatu lapisan aspal yang tertahan dalam cincin dalam ukuran tertentu sehingga aspal tersebut menyentuh plat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu sebagai akibat pemanasan tertentu.

- Peralatan :

- 1) Termometer.
- 2) Cincin kuningan.
- 3) Bola baja, diameter 9,53 mm berat 3,45 sampai 3,55 gr.
- 4) Alat pengarah bola.
- 5) Bejana gelas, tahan pemanasan mendadak dengan diameter dalam 8,5 cm dengan tinggi sekurang-kurangnya 12 cm.
- 6) Dudukan benda uji.
- 7) Penjepit.

- Prosedur pengujian :

Pertama memasang dan mengatur kedua benda uji (cincin + aspal) di atas dudukannya dan meletakkan pengarah bola di atasnya, kemudian memasukkan seluruh peralatan tersebut ke dalam bejana gelas. Mengisi bejana dengan air suling baru, dengan suhu $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ sehingga tinggi permukaan air berkisar antara 100 mm sampai 110 mm.

Meletakkan termometer yang sesuai untuk pekerjaan ini antara kedua benda uji ($\pm 12,7$ mm) dari tiap cincin, kemudian memeriksa dan mengatur jarak antara permukaan pelat dasar dengan dasar benda uji sehingga menjadi 25,4 mm.

Meletakkan bola-bola baja yang bersuhu 5°C di tengah atas permukaan masing-masing benda uji yang bersuhu 5°C , kemudian memanaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C per menit. Kecepatan pemanasan ini tidak boleh diambil dari kecepatan pemanasan rata-rata dari awal dan akhir pekerjaan ini. Untuk 3 menit yang pertama perbedaan kecepatan pemanasan tidak boleh melebihi $0,5^\circ\text{C}$.



Gambar 3.11 Aspal di dalam cincin



Gambar 3.12 Pengujian titik lembek aspal

- **Perhitungan :**

Melaporkan suhu pada saat bola-bola tersebut menyentuh pelat dasar. Melaporkan suhu titik lembek aspal yang bersangkutan dari hasil pengamatan dan membulatkan sampai 0,5°C terdekat untuk tiap percobaan ganda.

c. Pengujian berat jenis aspal

- **Tujuan :**

Pemeriksaan ini di maksudkan untuk menentukan berat jenis bitumen keras dengan menggunakan piknometer. Berat jenis bitumen ialah perbandingan antara berat bitumen dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

- **Peralatan :**

- 1) Termometer
- 2) Bak perendam yang dilengkapi dengan pengatur suhu
- 3) Piknometer
- 4) Air suling sebanyak 100 cm³
- 5) Bejana gelas

- **Prosedur pengujian :**

Pertama kali mengisi bejana dengan air suling kira-kira hingga bagian atas piknometer yang tidak terendam 40 mm, kemudian merendam dan menjepit bejana tersebut dalam bak perendam sehingga terendam sekurang-kurangnya 100 mm. Atur suhu bak perendam pada suhu 25°C, lalu membersihkan, mengeringkan dan menimbang piknometer dengan ketelitian 1 mg (A). Mengangkat bejana dari bak perendam dan mengisi piknometer dengan air suling kemudian menutup

piknometer tanpa ditekan. Meletakkan piknometer ke dalam bejana dan tekan penutup hingga rapat, kembalikan bejana berisi piknometer ke dalam bak perendam. Mendinginkan bejana tersebut di dalam bak perendam sekurang-kurangnya 30 menit, kemudian mengangkat piknometer dan mengeringkannya dengan lap. Menimbang piknometer dengan ketelitian 1 mg (B).

Menuangkan benda uji tersebut ke dalam piknometer yang telah kering sehingga terisi $\frac{3}{4}$ bagian. Biarkan piknometer sampai dingin, waktu tidak kurang dari 40 menit dan menimbang dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg (C). Selanjutnya mengisi piknometer yang berisi benda uji dengan air suling dan tutuplah tanpa ditekan, diamkan agar gelembung-gelembung udara keluar (D)



Gambar 3.13 Menimbang bejana berisi aspal

- Perhitungan :

$$BJ = (C-A)/[(B-A)-(D-C)]$$

A = berat piknometer dengan penutup (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

C = berat piknometer berisi aspal (gr)

D = berat piknometer berisi aspal dan air (gr)

d. Pengujian daktilitas bahan aspal

- Tujuan :

Maksud dari pengujian ini ialah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi dua buah aspal pada suhu air $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan kecepatan tarik mesin konstan 5 cm/menit. Tujuan pengujian ini ialah :

1. Mengetahui sifat daktilitas pada aspal keras
2. Mengetahui besaran daktilitas pada sampel aspal keras
3. Menentukan kualitas aspal keras berdasarkan nilai daktilitas aspal keras.

- Peralatan :

- 1) Termometer
- 2) Cetakan daktilitas
- 3) Bak perendam volume 10 liter
- 4) Mesin uji daktilitas dengan kecepatan tetap 5 cm/menit
- 5) Glyserin

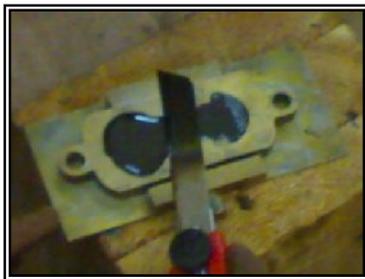
- Prosedur pengujian :

Melapisi semua bagian dalam daktilitas dan bagian dasar dengan campuran glyserin dan *talk*, kemudian memanaskan contoh aspal kira-kira 200 gram sehingga cair dan dapat dituang. Untuk menghindari pemanasan setempat, lakukan dengan hati-hati. Pemanasan dilakukan sampai suhu antara 80°C sampai 100°C diatas titik lembek lalu dituang ke dalam cetakan.

Pada waktu mengisi cetakan, contoh dituang hati-hati dari ujung ke ujung hingga penuh. Selanjutnya mendinginkan cetakan pada suhu ruang selama 30 sampai 40 menit lalu memindahkan seluruhnya ke dalam bejana perendam bersuhu $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ (sesuai dengan spesifikasi) selama 30 menit, kemudian meratakan contoh yang berlebihan dengan pisau atau spatula panas sehingga cetakan terisi penuh atau rata.

Memasang benda uji pada mesin uji, kemudian membaca jarak antara pemegang cetakan, pada mesin uji dan tarik benda uji secara teratur dengan kecepatan 5 cm/menit sampai benda uji putus. Perbedaan kecepatan lebih kurang 5% saat benda uji putus (dalam cm).

Selama percobaan berlangsung benda uji harus selalu terendam sekurang-kurangnya 2,5 cm dari air dan suhu harus dipertahankan tetap $25^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$.



Gambar 3.14 Mengisi cetakan dengan aspal



3.15 Pengujian daktilitas aspal pada suhu perendaman

e. Pengujian viskositas bahan aspal

- Tujuan : Menentukan suhu pencampuran dan pemadatan campuran aspal beton
- Peralatan : Saybolt viscometer, Saringan no.100, labu penampung, stopwatch, thermometer, kompor dan wajan
- Prosedur pengujian :

Siapkan alat dan bahan. Panaskan aspal yang akan diuji menggunakan kompor dengan suhu 130°C Tutup lubang furol menggunakan gabus. Atur suhu oli yang berada di dalam dengan menggunakan termometer sesuai suhu yang ditentukan. Setelah aspal yang dipanaskan cair, tuangkan ke dalam tabung viscometer yang telah dipasang saringan #100. Masukkan batang penyumbat ke dalam tabung viscometer. Masukkan termometer ke dalam tabung viscometer yang telah di isi aspal. Tunggu sampai suhu aspal sama dengan suhu yang diinginkan. Setelah suhunya sama, lepaskan gabus penutup pada lubang furol. Simpan labu penampung tepat dibawah lubang furol. Lepaskan batang penyumbat agar aspal dapat mengalir dan jatuh di labu penampung. Siapkan stop watch dan catat waktu pada saat aspal tepat menyentuh ke dasar labu penampung. Hentikan stop watch ketika aspal memenuhi labu penampung sebanyak 60 ml dan catat waktunya (detik). Pasang penyumbat dalam viscometer agar aspal berhenti mengalir.



Gambar 3.16 Saybolt viscometer



Gambar 3.17 Labu penampung

f. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

- Tujuan : Untuk menentukan dan mendapatkan suhu titik nyala dan titik bakar aspal keras dengan menggunakan alat Cleveland Open Cup.

- Peralatan : Pelat pemanas, *Cleveland Open Cup*, Stopwatch, Kompor, Wajan dan Termometer

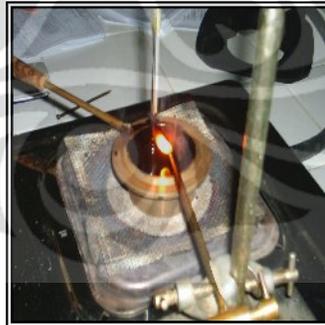
- Prosedur pengujian :

Panaskan aspal diatas pelat pemanas dan aturlah sumber pemanas sehingga terletak di bawah titik tengah cawan dengan suhu 110 ± 5 °C, sampai aspal mencair dan tidak ada air. Tentukan suhu nyala perkiraan (275 °C). Kemudian isilah cawan Cleveland sampai garis batas ± 1 inchi dan hilangkan gelembung udara yang ada pada permukaan cairan.

Letakkan nyala api penguji dengan poros pada jarak 75 mm dari titik tengah cawan. Tempatkan thermometer tegak lurus didalam benda uji dengan jarak 6,4 mm di atas dasar cawan dan terletak pada satu garis yang menghubungkan titik thermometer terletak pada jarak $\frac{1}{4}$ diameter cawan dari tepi.

Tempatkan penahan angin didepan nyala penguji. Nyalakan sumber pemanas dan aturlah pemanasan sehingga kenaikan suhu menjadi (15 ± 1) °C/menit sampai benda uji mencapai suhu 56 °C dibawah titik nyala perkiraan.

Lalu aturlah kecepatan pemanasan 5 °C sampai 6 °C permenit pada suhu antara 56 °C dan 28 °C dibawah titik nyala perkiraan. Nyalakan nyala penguji dan aturlah agar diameter nyala penguji tersebut menjadi 3,2 sampai 4,8 mm.



Gambar 3.18 Pengujian dengan Cleveland Open Cup

Putarlah nyala penguji sehingga melalui permukaan cawan (dari tepi ke tepi cawan) dalam waktu satu detik, ulangi pekerjaan tersebut setiap kenaikan suhu 2 °C. Lanjutkan pekerjaan diatas sampai terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan benda uji, bacalah suhu pada termometer dan catat. Lanjutkan pekerjaan sampai terlihat nyala yang agak lama sekurang-kurangnya 5 detik di

atas permukaan benda uji; bacalah suhu pada thermometer dan catat. Pemeriksaan yang tidak memenuhi syarat toleransi, dianggap gagal dan harus diulang.

3.6.2. Tahap Pembuatan Benda Uji

Setelah pengujian terhadap material selesai dilakukan dan memenuhi standar persyaratan maka langkah selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji. Agregat yang digunakan dibersihkan dan dikeringkan terlebih dahulu. Agregat yang dibutuhkan untuk membuat satu benda uji adalah ± 1000 gram yang terdiri dari agregat kasar, halus dan *filler*.

Dalam membuat campuran benda uji, digunakan standar pembuatan campuran panas aspal beton yang biasa dilakukan di laboratorium bagi pengujian Marshall (SK SNI M-58-1990-03).

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

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

dimana :

P_b = 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 P_b (Perkiraan bitumen) dari hasil perhitungan dibulatkan sampai 0.5% terhadap nilai perkiraan kadar aspal optimum dari perhitungan yang didapat dari persamaan diatas. Selanjutnya dibuat benda uji Marshall dengan 6 variasi kadar aspal, yaitu min 2 dan plus 3 dari P_b atau (-1%, -0.5%, P_b , +0.5%, +1%, +1,5%), masing-masing variasi dibuat 3 (tiga) benda uji. Setelah variasi kadar aspal di dapat, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji. Namun sebelumnya perancangan gradasi agregat harus sudah didapat untuk melihat komposisi campuran, setelah itu pembuatan benda uji dapat dilakukan.

Untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum Kepadatan Mutlak ($KAOR_{ef}$), dibuat tiga benda uji, satu benda uji dengan kadar pada nilai rongga dalam campuran

Universitas Indonesia

(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 Marshall sebanyak 400 tumbukan masing-masing bidang.

Pembuatan benda uji campuran dalam pengujian Marshall Immertion yang digunakan adalah campuran PEN 60/70 dan Modifikasi BNA pada Kadar Aspal Optimum Marshall. Pengujian Marshall immertion dilakukan setelah benda uji direndam selama 24 jam dalam air pada temperatur 60 °C (*immersed condition*).

3.6.2.1 Pembuatan Benda Uji Marshall Standard

- Tujuan :

Untuk membuat benda uji Marshall dengan total 150 kali pemadatan dikedua sisi.

- Peralatan :

- 1) Dua buah cetakan benda uji yang berdiameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
- 2) Alat pengeluar benda uji. Untuk benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda uji dipakai sebagai alat *ejector*.
- 3) Penumbuk yang mempunyai tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 (10 pound), dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18).
- 4) Landasan pemadat terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran kira-kira 20 x 20 x 45 cm (8 x 8 x 18) yang dilapis dengan pelat baja berukuran 30 x 30 x 2,5 cm (12 x 12 x 1) dan diikatkan pada lantai beton dengan 4 bagian siku.
- 5) Silinder cetakan benda uji.
- 6) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai 200 °C.
- 7) Bak perendam (*water bath*) dilengkapi dengan *thermometer* pengatur suhu minimum 20 °C.
- 8) Wajan untuk mencampur dan menggoreng agregat dan aspal.
- 9) Pengukur suhu dari logam (*metal thermometer*) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 0,5 atau 1% dari kapasitas.

- 10) Timbangan yang dilengkapi penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- 11) Kompor.
- 12) Sendok pengaduk dan perlengkapan lain

- Prosedur pembuatan :

Menimbang agregat sesuai komposisi yang telah ditentukan, kemudian memisahkan aspal dengan kadar yang telah ditentukan dan memanaskannya hingga cair. Agregat kemudian digoreng dengan suhu 28°C diatas suhu pencampuran 155°C . Agregat yang telah digoreng dan aspal cair yang telah dipanaskan kemudian dicampur hingga benar-benar tercampur merata. Suhu pencampuran 155°C .

Membersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta mengolesi seluruh permukaan dalam cetakan dengan minyak atau *kerosine*. Menyiapkan selebar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah di gunting menurut ukuran cetakan kedalam dasar cetakan, kemudian memasukkan seluruh campuran aspal ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula 15 kali keliling pinggirannya.

Selanjutnya menumbuk sebanyak 75 kali untuk satu sisi, kemudian 75 kali untuk sisi lainnya. Mengeluarkan benda uji dengan *ejector* dan kemudian memberi tanda sesuai komposisi aspal dan nomor benda uji.

3.6.2.2 Pembuatan Benda Uji Refusal Density

Setelah mendapatkan kadar aspal pada VIM 6% dan VIM $6\% \pm 0,5\%$, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji *Refusal Density*.

- Tujuan :

Untuk membuat benda uji Marshall dengan 800 kali pemadatan dikedua sisi yang menggunakan kadar aspal dari VIM $6\% \pm 0,5\%$.

- Peralatan :

Sama dengan saat pembuatan benda uji Marshall standard.

- Prosedur pembuatan :

Sama dengan saat pembuatan benda uji Marshall standard, hanya berbeda jumlah tumbukkannya yaitu 800 total tumbukan. 400 tumbukan untuk satu sisi, dan 400 tumbukan pula untuk sisi lainnya.

- Perhitungan :

Rongga dalam campuran *Refusal Density*: $100 - (100g/h)$

Ket : g = berat isi benda uji *Refusal Density*.

h = berat jenis teoritis

(persyaratan Bina Marga edisi 2005 bahwa rongga dalam campuran kurang dari 2,5%.)

3.6.2.3 Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)

- Tujuan :

Untuk mendapatkan nilai Gmm dari benda uji yang menggunakan persen aspal perkiraan, yang nantinya dipakai pada tabel grafik Marshall.

- Peralatan :

- 1) Wadah labu dengan kapasitas sekurang-kurangnya 1000 ml, dan harus tahan terhadap pengurangan tekanan.
- 2) Penutup karet dilengkapi dengan slang yang dihubungkan dengan pompa hisap.
- 3) Timbangan.
- 4) Ram kawat halus digunakan untuk menutup lubang slang supaya tidak ada material halus yang terhisap.
- 5) Termometer air raksa yang mempunyai skala pembacaan minimum $0,01^{\circ}\text{C}$.
- 6) Pompa hisap atau aspirator air.
- 7) Penangas air.

- Prosedur pembuatan :

Menguraikan contoh campuran beraspal secara hati-hati jangan sampai menghancurkan butiran mineral, sehingga gumpalan-gumpalan halus dari campuran tidak lebih besar dari 6,3 mm. Jika gumpalan contoh sukar diuraikan, tempatkan contoh di dalam loyang, kemudian dipanaskan pada oven hingga gumpalan mudah diuraikan.

Mengeringkan contoh di dalam oven pada suhu $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap. Mendinginkan contoh pada suhu ruang, kemudian menimbang benda uji (A gram). Memasukkan benda uji kedalam wadah labu, lalu ditambahkan air pada suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$ hingga benda uji terendam. Mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam benda uji dengan cara dihisap hingga tekanan tersisa mencapai sekurang-kurangnya-kurangnya 0 mmHg.

Mempertahankan tekanan sisa selama 5 sampai 15 menit. Menggoyangkan wadah selama penghisapan dengan menggunakan alat atau manual dengan selang waktu 2 menit. Setelah penghisapan selesai, mengisi labu penuh dengan air dan rendam dalam penangas air pada $(25\pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ selama (10 ± 1) menit. Menimbang wadah labu berisi air dan benda uji (C gram). Terakhir menimbang wadah labu berisi air saja (B gram).

- Perhitungan :

$$G_{mm} = \frac{A}{(A + B - C)}$$

A = berat benda uji kering oven di udara (gr)

B = berat labu berisi air pada suhu 25°C (gr)

C = berat labu berisi air dan benda uji pada suhu 25°C (gr)

3.6.2.4 Pembuatan Benda Uji Stabilitas Sisa (*Water Stripping*)

Setelah mendapatkan kadar aspal optimum marshall, dilanjutkan dengan pengujian stabilitas sisa.

- Tujuan :

Untuk membuat benda uji marshall dengan 150 kali pemadatan dikedua sisi yang menggunakan kadar aspal optimum.

- Peralatan :

Sama dengan saat pembuatan benda uji Marshall standard.

- Prosedur pembuatan :

Sama dengan saat pembuatan benda uji Marshall standard.

- Perhitungan :

$$\text{Persen Stabilitas Sisa} = \frac{\text{Stab } 24'}{\text{Stab } 30''} \times 100\%$$

Ket :

Stab 24' = Nilai stabilitas benda uji yang di rendam 24 jam

Stab 30'' = Nilai stabilitas benda uji yang di rendam 30 menit

3.6.2.5 Pembuatan Benda Uji Skid Resistance

Pada dasarnya penggunaan alat skid resistance tester sering dipergunakan langsung di permukaan jalan dilapangan, namun untuk penelitian kali ini dilakukan di laboratorium, maka benda uji *skid resistance* dibuat dengan disesuaikan dengan memakai cetakan uji *wheel tracking* ukuran 30cmx30cmx5cm yang kemudian di potong menjadi beberapa bagian sesuai ukuran untuk uji skid resistance yaitu ukuran 12cmx5cmx5cm, dengan jumlah benda uji untuk campuran Aspal Pen 60/70 sebanyak 3 buah untuk masing-masing variasi suhu 30⁰C, 35⁰C, 40⁰C, 45⁰C, 50⁰C, 55⁰C dan jumlah yang sama untuk campuran Aspal Pen 60/70 + BNA (Buton Natural Asphalt). Pembuatan benda uji dengan cetakan *wheel tracking* dilakukan di Laboratorium UPT Penyelidikan, Pengukuran dan Pengujian Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta.



Gambar 3.19 Campuran Aspal di campur di dalam Asphalt Mixer



Gambar 3.20 Dipadatkan dengan Roller Compactor



Gambar 3.21 Sampel Setelah dipadatkan



Gambar 3.22 Benda Uji Siap Dipotong



Gambar 3.23 Benda uji dipotong



Gambar 3.24 Benda uji setelah dipotong



Gambar 3.25 Benda uji dengan ukuran 12x5x5cm

3.6.3. Tahap Pengujian Marshall

Setelah benda uji disiapkan, dilakukan pengujian Marshall dengan menggunakan alat uji Marshall dan dilakukan pembacaan stabilitas dan *flow*. Hasil pengujian ditabelkan, diadakan analisa sifat-sifat Marshall tiap-tiap campuran, untuk kemudian dicari kadar aspal optimum dari tiap campuran yang memenuhi kriteria campuran panas aspal beton berdasarkan peraturan Bina Marga edisi 2005. Setelah didapat aspal optimum dibuat benda uji untuk pengujian Refusal dan pengujian stabilitas sisa (*water stripping*).



Gambar 3.26 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall standar, sebelum dilakukan pengujian stabilitas dan *flow* sampel terlebih dahulu diangin-anginkan selama satu sampai dua jam. Dari hasil uji tersebut diatas, masing-masing persentase aspal, sebanyak 2 sampel, dicari rata-ratanya, dan kemudian dari seluruh persentase aspal dibuat grafik hubungan antara persentase aspal dengan :

- a. Persen rongga terhadap agregat
- b. Persen rongga terhadap campuran

- c. Persen rongga terisi aspal
- d. Pelelehan
- e. Stabilitas
- f. Marshall quotient

Dengan membandingkan hasil pengujian dengan persyaratan, dapat ditentukan persentase aspal yang optimum.

Pengujian *Refusal Density*, dilakukan hanya pengujian penimbangan terhadap benda uji baik berat kering, berat jenuh dan berat dalam air. Dari hasil uji tersebut masukkan pada tabel Marshall, kemudian dicari rata-rata nilai persen rongga terhadap agregat, persen rongga terhadap campuran dan persen rongga terisi aspal. Pengujian Marshall stabilitas sisa, dilakukan pengujian stabilitas dan *flow* menggunakan alat Marshall, sebelumnya benda uji direndam dalam *water bath* selama 24 jam dan 30 menit. Dari hasil uji tersebut masukkan pada tabel Marshall, kemudian dicari persen nilai stabilitas sisa dan nilai pelelehannya.

- Peralatan :
 - 1) Mesin tekan lengkap dengan kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*).
 - 2) Cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg dilengkapi dengan arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm.
 - 3) Arloji kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm dengan perlengkapannya.
 - 4) Sarung asbes dan sarung karet.

- Prosedur pengujian :

Membersihkan benda uji dari kotoran-kotoran yang menempel, kemudian memberi tanda pengenal pada masing-masing benda uji. Mengukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm. Selanjutnya menimbang benda uji, lalu merendam dalam air kira-kira 24 jam pada suhu ruang. Esok harinya menimbang dalam air untuk mendapatkan isi, lalu menimbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh.

Berikutnya merendam benda uji aspal panas dalam bak perendam selama 30 sampai 40 menit atau dipanaskan dengan suhu tetap (60 ± 1) °C untuk benda uji aspal panas. Sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen. Sebelum melakukan pengujian, membersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan dalam dari kepala penekan (*test heads*). Melumasi batang penuntun sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas, bila dikehendaki kepala penekan direndam bersama-sama benda uji pada suhu antara 21°C sampai 38°C.

Mengeluarkan benda uji dari dalam bak perendam atau dari oven atau dari pemanas udara dan letakkan keseluruhannya ke dalam mesin penguji. Memasang arloji kelelahan (*flow meter*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, atas kepala penekan. Menekan selubung tangkai arloji kelelahan tersebut pada segmen atas dari kepala penekan selama pembebanan langsung.

Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji. Mengatur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol, kemudian memberikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan tetap sebesar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum yang dicapai.

Melepaskan selubung tangkai arloji kelelahan pada saat pembebanan mencapai maksimum dan catat nilai kelelahan yang ditunjukkan oleh jarum arloji kelelahan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik

3.6.4. Tahap Pengujian Skid Resistance

Setelah benda uji selesai dibuat, dilakukan pengujian BPT (British Pendulum Tester) atau Uji Skid Resistance. Cara uji ini terdiri atas alat penguji jenis pendulum yang dipasang karet peluncur standar untuk menentukan sifat-sifat hambatan atau gesekan (frictional) atau kekesatan permukaan perkerasan yang diuji. Dengan variasi temperatur dari 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C didapat perbedaan nilai BPN (British Pendulum Number) dari setiap benda uji dalam

keadaan basah. Untuk menjaga suhu permukaan saat diuji dilakukan modifikasi tempat untuk peletakan benda uji dengan ukuran nampan 46cmx15cmx10cm yang di tuangkan air sampai benda uji terendam dan kemudian di panaskan menggunakan *heater* sesuai suhu yang diinginkan.

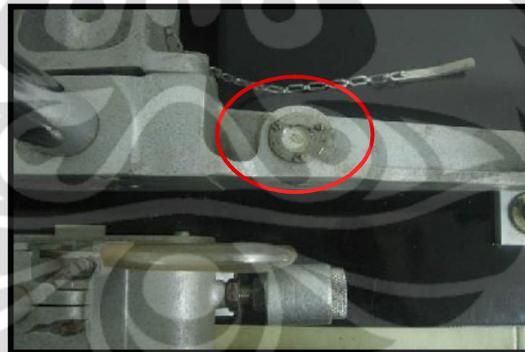
Berikut langkah – langkah pengujiannya :

1. Mempersiapkan Alat *Skid Resistance Tester* dan peralatan pendukung.

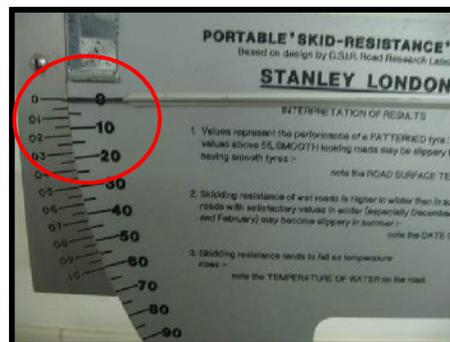


Gambar 3.27 Persiapan Alat

2. Setting alat *Skid Resistance Tester*.

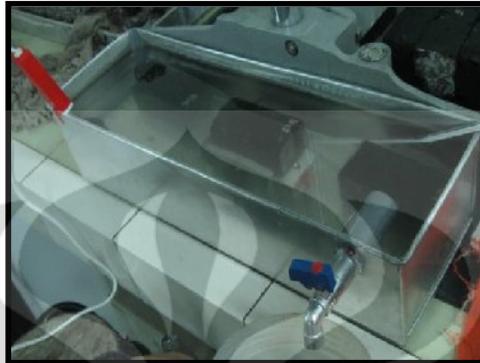


Gambar 3.28 Setting kedataran alat dengan waterpass pada unit alat



Gambar 3.29 Cek 1 kali ayunan bebas jarum menunjuk tepat di angka 0, dengan mensetting kekencangan tombol pengunci

3. Benda uji dipasang pada tempatnya selanjutnya dilakukan perendaman selama 30 menit dipanaskan sampai suhu yang diinginkan.



Gambar 3.30 Benda uji direndam selama 30 menit sebelum diuji

4. Setelah 30 menit keluarkan air melalui keran sampai air mencapai batas permukaan benda uji yang sebelumnya suhu rendaman telah dicapai dan selanjutnya ukur suhu permukaan benda uji dengan thermometer.



Gambar 3.31 Pengukuran suhu permukaan benda uji

5. Segera lakukan pengujian ketika suhu sudah dicapai dengan mengayunkan bandul sampai menggesek / menyentuh bidang gesek sesuai persyaratan 12,5cm.

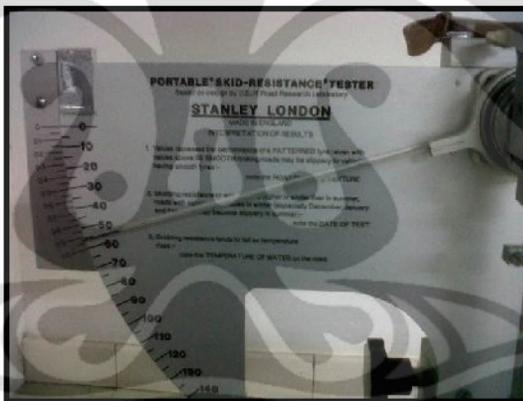


Gambar 3.32 Pengujian dilakukan dengan mengayunkan bandul



Gambar 3.33 Karet peluncur menyentuh panjang bidang kontak permukaan benda uji (12,5cm)

6. Catat besar nilai kekesatan / nilai BPN dari penunjuk dial berdasarkan variasi suhu yang diinginkan sampai 5 kali pembacaan ulang untuk karet peluncur sesuai AASHTO M 261.



Gambar 3.34 Jarum penunjuk nilai BPN

7. Selanjutnya masukkan ke dalam tabel pengisian nilai BPN dengan pencatatan hasil rata-rata, dari hasil tersebut didapat nilai BPN akhir.

BAB IV

PENYAJIAN DATA DAN ANALISA

4.1. Hasil Pengujian Kualitas Material

Pengujian kualitas material dalam campuran aspal panas ini terdiri dari material agregat dan aspal. Sedangkan material agregat itu sendiri terdiri dari agregat kasar, medium dan halus. Hasil dari pengujian kualitas material tersebut sangat menentukan kinerja campuran yang dihasilkan.

Tahapan persiapan benda uji merupakan tahapan awal yang dilakukan untuk mengetahui data sifat-sifat fisik dan sifat mekanis dari bahan-bahan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji marshall dan percobaan *skid resistance*. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data yang akan digunakan pada saat perancangan campuran (*mix design*). Prosedur pengujian bahan-bahan adalah sebagai berikut :

4.1.1. Pemeriksaan Agregat Kasar

Proses pengujian berat jenis bulk, berat jenis SSD, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat kasar dilakukan secara berurutan, dikarenakan pada pengujian tersebut memiliki kebutuhan parameter yang sama dan saling terkait. Yaitu berat benda uji kering oven, berat benda uji kering permukaan jenuh dan berat benda uji dalam air. Sehingga pengujian tersebut dapat dilakukan pada hari yang bersamaan dan menjadi satu paket pengujian. Sedangkan pengujian yang lain dilakukan berlainan waktu. Hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Karakteristik	Standart Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis Bulk	AASHTO T-85-81	2,59gr/cm ³	Min2,5gr/cm ³	Memenuhi
2	Berat Jenis SSD	AASHTO T-85-81	2,64gr/cm ³	Min2,5gr/cm ³	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu	AASHTO T-85-81	2,72gr/cm ³	Min2,5gr/cm ³	Memenuhi
4	Penyerapan Air	SNI 1969-1989-F	2%	Maks 3%	Memenuhi
5	Abrasi dengan Mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	13,96%	Maks 40%	Memenuhi
6	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 03-2439-1991	99%	Min 95%	Memenuhi
7	Impact	SNI 03-4426-1997	18,56	Maks 30 %	Memenuhi
8	Berat Jenis Efektif	AASHTO T-85-81	2,62gr/cm ³	Min2,5gr/cm ³	Memenuhi

Dari tabel 4.1 terlihat hasil pengujian terhadap karakteristik agregat kasar meliputi:

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.

Dari data-data pengujian agregat kasar memiliki berat jenis bulk sebesar **2,59 gr/cm³**, berat jenis semu sebesar **2,72 gr/cm³** dan berat jenis SSD sebesar 2,64 **gr/cm³**, ini menunjukkan agregat kasar tergolong agregat normal dan penyerapan air agregat sebesar **2%**, hal ini memenuhi syarat Bina Marga edisi 2005 yaitu nilai penyerapan air agregat maksimum 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 kekerasan dengan mesin Los Angeles adalah **13.96 %**. Persyaratan maksimum 40 % (sesuai SNI 03-2417-1991). Berarti agregat mempunyai sifat kekuatan yang cukup kuat, sehingga tidak akan mudah pecah jadi butiran halus, dan dengan demikian gradasinya tetap terjaga serta saling *interlocking* sesama agregat selama pemadatan atau pengaruh beban lalu lintas.

- Impact

Hasil pengujian impact didapat nilainya **18.56**, persyaratan yaitu maksimum 30. Berarti kekerasan agregat juga sanggup menahan beban kejut kendaraan.

- Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Persyaratan spesifikasi menetapkan kelekatan agregat terhadap aspal minimum adalah 95 %, hasil pengujian diamati **> 99%**. Hasil ini menunjukkan agregat yang diuji mempunyai karakteristik kelekatan terhadap aspal serta ketahanan terhadap pemisahan aspal (*film-stripping*) yang tinggi juga. *Stripping* yaitu pemisahan aspal dari agregat terhadap pengaruh air. Sehingga hal ini juga dapat mengantisipasi terjadinya *raveling* dan *pothole*.

4.1.2. Pemeriksaan Agregat Medium

Perbedaan pengujian masing-masing berat jenis dan penyerapan air antara agregat kasar dan agregat medium pada metode dan peralatan pengujian, sedangkan proses perhitungannya hampir sama. Selain itu tingkat ketelitian pada agregat halus lebih diperlukan dibandingkan agregat kasar. Hal tersebut dikarenakan gradasi agregat halus lebih kecil dari pada agregat kasar, sehingga material yang terbangun lebih besar kemungkinannya. Berikut data hasil pengujian agregat halus pada Tabel 4.2 dibawah ini

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Agregat Medium

No	Karakteristik	Standart Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis Bulk	AASHTO T-85-81	2,57 gr/cc	Min2,5gr/cm ³	Memenuhi
2	Berat Jenis SSD	AASHTO T-85-81	2,63 gr/cc	Min2,5gr/cm ³	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu	AASHTO T-85-81	2,75 gr/cc	Min2,5gr/cm ³	Memenuhi
4	Penyerapan Air	SNI 1969-1989-F	0,586%	Maks 3%	Memenuhi
5	Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	54,30%	Min 50%	Memenuhi
6	Berat Jenis Efektif	AASHTO T-85-81	2,635 gr/cc	Min2,5gr/cm ³	Memenuhi

Dari tabel 4.2 terlihat hasil pengujian terhadap karakteristik agregat medium meliputi :

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.

Dari data-data pengujian agregat kasar dmiliki berat jenis bulk sebesar **2,57 gr/cm³**, berat jenis semu sebesar **2,75 gr/cm³** dan berat jenis SSD sebesar **2,63 gr/cm³**, ini menunjukkan agregat kasar tergolong agregat normal dan sesuai spesifikasi min 25 gr/cm³, untuk penyerapan air sebesar **0,586%**, hal ini memenuhi syarat Bina Marga edisi 2005 yaitu nilai penyerapan air agregat maksimum 3%.

- 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 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 **54.30 %**, maka dari itu agregat halus masih bisa digunakan untuk campuran aspal panas.

4.1.3. Pemeriksaan Agregat Halus

Hasil pengujian agregat halus abu batu, ditampilkan pada tabel 4.3. berikut ini agar dapat dilihat perbedaan masing-masing nilai hasil pengujian baik pada berat jenis maupun lolos saringan no.200.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Karakteristik	Standart Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Lolos Saringan no.200	SNI 03-4142-1996	13,95 %	Maks 8%	Tidak Memenuhi
2	Berat Jenis	AASHTO T-85-81	2,56gr/cm ³	Min 2,5 gr/cm ³	Memenuhi

Dari tabel 4.3 terlihat hasil pengujian terhadap karakteristik agregat halus meliputi:

- Berat Jenis.

Dari data-data pengujian agregat halus memiliki berat jenis sebesar **2,56 gr/cm³**, hal ini menunjukkan agregat kasar tergolong agregat normal dan sesuai spesifikasi min 25 gr/cm³

- Lolos saringan no.200

Hasil pengujian kadar lumpur, menunjukkan bahwa agregat halus adalah **13,95 %** . Kadar agregat halus lebih dari yang dipersyaratkan yaitu 8 %, sehingga agregat halus ini harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan untuk mengurangi kadar lumpurnya.

4.1.4. Penggabungan Agregat

Tabel 4.4 Hasil Agregat Gabungan

Agregat Gabungan		
1. Berat jenis bulk	2.567 gr/cm ³	Min 2.5 gr/cm ³
2. Berat jenis SSD	2.664 gr/cm ³	Min 2.5 gr/cm ³
3. Berat jenis semu	2.728 gr/cm ³	Min 2.5 gr/cm ³
4. Berat jenis efektif	2.625 gr/cm ³	Min 2.5 gr/cm ³

SNI 03-1970-1990

4.1.5. Pemeriksaan Aspal

Pada pemeriksaan aspal ini terdapat tujuh jenis pengujian. Aspal yang digunakan merupakan produk dari Cevron. Berikut hasil pengujian ditunjukkan dalam tabel 4.5 dibawah ini

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Aspal

No	Karakteristik	Standart Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Penetrasi (25°C)	SNI 06-2456-1991	67,75	60-79	Memenuhi
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	51,5	48-58	Memenuhi
3	Titik Nyala & Titik Bakar (°C)	SNI 06-2433-1991	263	min 200	Memenuhi
4	Daktilitas 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991	>100	min 100	Memenuhi
5	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	1,034	min 1,0	Memenuhi
6	Kelarutan Dalam TCE (%berat)	SNI 06-2438-1991	99,58	min 99	Memenuhi

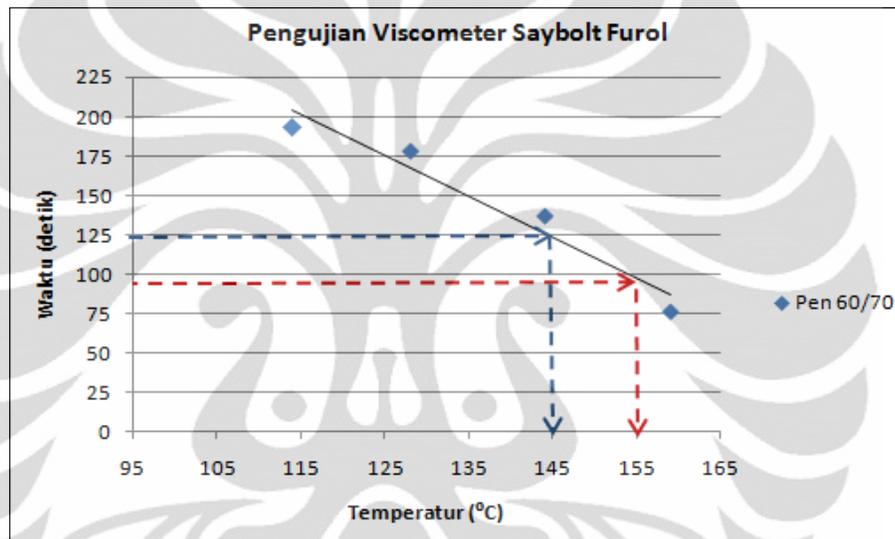
Dari hasil pengujian karakteristik material aspal pada tabel diatas yang nantinya akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan laston AC-WC, dengan penetrasi aspal sebesar 67,75 sehingga masuk kedalam kategori aspal pen 60/70 dan sesuai spesifikasi. Demikian juga dengan standar pengujian aspal yang lain, seperti terlihat pada tabel 4.5. setiap pengujian yang dilakukan diperoleh hasil memenuhi persyaratan untuk aspal pen 60/70.

Untuk mengetahui suhu pencampuran dan pemadatan benda uji aspal beton maka dilakukan pengujian viskositas aspal dengan menggunakan alat Viscometer Syaibolt Furol yang dilakukan pada temperatur 114 °C, 128 °C, dan 144 °C, dan 159 °C. Data hasil pengujian digambarkan dalam grafik yang merupakan hubungan antara viskositas aspal dengan temperatur. 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) menunjukkan bahwa temperatur pencampuran pada viskositas aspal 85 ± 10 detik dicapai pada temperatur 155 °C dan temperatur pemadatan pada viscositas 140 ± 15 detik dicapai pada temperature 145 °C. Nilai yang diperoleh dari hasil pengujian viskositas dapat dilihat dalam Tabel 4.6 dan Gambar 4.1 Grafik hubungan antara Viscosimeter Saybolt Furol dan temperatur.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Viscositas Aspal Penetrasi 60/70

No	Temperatur Pembacaan (°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 Temperatur.

4.2. Karakteristik Aspal BNA

Aspal BNA (Bitumen Natural Aspal) dalam penelitian ini mengacu kepada spesifikasi hasil pengujian BNA seperti dilihat dalam Tabel 4.7. Karakteristik dalam tabel tersebut juga dilibatkan persyaratan spesifikasi Binamarga untuk penggunaan aspal alam modifikasi, semuanya memenuhi persyaratan campuran aspal modifikasi.

Tabel 4.7 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 °C dlm mm	66	3	51	45 -55
Titik lembek, °C	51,5	121	55,8	Min. 55
Daktilitas, Cm	140	1	62	Min. 50
Kelarutan - TCE, %-W		58,1	90,3	Min. 90
Titik nyala, °C	263	250	300	Min. 225
Berat Jenis	1,034	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 : PT.Aston Adhi Jaya

Dapat dilihat pada tabel diatas, dari hasil pengujian aspal BNA yang dirancang untuk campuran Modifikasi (aspal *Blend* Pen 60/70 dengan BNA dengan ratio 75 % aspal Pen 60/70 dan 25 % aspal BNA) semuanya memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga.

Dilihat dari uji penetrasi, aspal BNA mempunyai penetrasi lebih kecil yaitu 3 dibandingkan dengan aspal pen 60/70, sehubungan aspal BNA mempunyai sifat lebih keras dibanding aspal Pen 60/70.

Untuk titik lembek, aspal penetrasi 60/70 dibanding *BNA Blend* cukup signifikan perbedaannya yaitu 51.5°C dan 55.8°C. 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 viskolastis dibanding aspal BNA, sehingga akan melunak atau *vicious liquid* bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Demikian juga halnya dengan titik nyala, hasil pengujian Pen 60/70 adalah 263 °C, sedangkan *BNA Blend* 300 °C. Hasil ini mengindikasikan bahwa terdapat kekurangan unsur minyak didalam aspal *Blend*. 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 *blend* dengan komposisi Pen 60/70 =75 % dan BNA 25 , nilai berat jenisnya 1.109, untuk kedua jenis aspal disyaratkan minimal 1. Perbedaan berat jenis tersebut dapat diidentifikasi dari spesifikasi aspal BNA, bahwa aspal BNA masih terkandung mineral halus berupa filler hidropobic yang merata dalam aspal BNA. Sehingga membuktikan berat jenis aspal *blend* BNA lebih besar dari berat jenis aspal penetrasi 60/70.

4.3. Perkiraan Kadar Aspal Rencana

Perancangan campuran dalam penelitian ini menggunakan formula campuran rancangan (*mix design formula*) untuk mencari perkiraan awal kadar aspal. Perkiraan awal kadar aspal rancangan diperoleh dari rumus :

$$\begin{aligned} P_b &= 0.035 (\%CA = 57) + 0.045 (\%FA = 37) + 0.18 (\%FF = 6) + 0.75 \\ &= 5.49 \% \approx 5.5 \%. \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, perkiraan awal kadar aspal yang didapat adalah sebesar 5,5 % terhadap campuran. Dimana CA adalah agregat kasar tertahan ayakan no. 8, FA agregat halus lolos saringan no. 8 dan tertahan di nomor 200. Selanjutnya pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi kadar aspal terhadap campuran, yaitu 3 kadar aspal diatas P_b dan 2 kadar aspal dibawah.

Tabel 4.8 Perkiraan nilai kadar aspal

-1,0	-0,5	P_b	+0,5	+1,00	+1,50
4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7

4.4. Gradasi Agregat

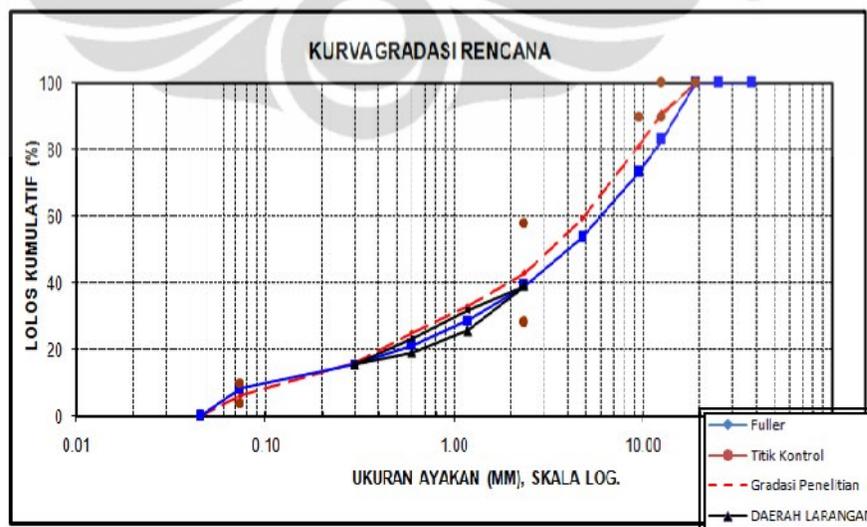
Untuk mencari proporsi agregat campuran aspal, dikarenakan hasil analisa ayak agregat tidak masuk dalam spesifikasi laston AC-WC, maka dilakukan *treatment* gradasi terhadap kurva fuller supaya masuk dalam spesifikasinya. Gradasi Agregat campuran mengacu kepada spesifikasi Campuran Aspal Panas Departemen Pekerjaan Umum tahun 2008. Gradasi agregat untuk perencanaan

campuran yang diteliti adalah gradasi campuran Laston 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 deformasi permanen diharapkan akan berkurang dengan penggunaan aspal modifikasi BNA yang mempunyai karakteristik 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 4.9 serta kurva gradasi pada gambar 4.2

Tabel 4.9. Rancangan Gradasi Laston AC-WC

No.	Ukuran Ayakan		% Berat yang Tertahan		% Berat Lolos		LOLOS KUM. (%), GAB. AGG. LASTON AC-WC BERDASARKAN SPEK. NO. 023/T/BM/1999			
	ASTM	(mm)	Tertahan	Kumulatif	Rancangan Campuran	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				



Gambar 4.2 Kurva Gradasi Laston AC-WC

Dapat terlihat pada kurva gradasi laston AC-WC gambar 4.2, dari hasil *treatment* gradasi(warna merah putus-putus) supaya sesuai spesifikasi fuller, yaitu untuk tipe laston AC-WC harus berada diatas kurva gradasi fuller (warna biru) dan tidak boleh berada dalam daerah larangan (warna hitam), tetapi boleh memotong kurva fuller namun maksimal hanya 1 kali.

4.5. Menentukan Jumlah Kebutuhan Bahan Agregat dan Aspal untuk Benda Uji Marshall

Untuk mendapatkan berat dari masing-masing fraksi prosentase rencana tertahan setiap fraksi gradasi fuller dikalikan dengan berat agregat total 1 benda uji marshall yaitu 1100 gram maka didapat berat agregat setiap fraksi gradasi. Pada tabel 4.10 dan tabel 4.11 dapat dilihat berat agregat untuk setiap fraksi gradasi dan berat aspal untuk setiap kadar aspalnya.

Tabel 4.10. Jumlah Kebutuhan Agregat per Gradasi untuk 1 Benda Uji Marshall

No	Ukuran Ayakan (mm)		% Berat Tertahan (A)	Berat Agregat 1 Benda Uji (gram) (B)	Berat Tiap Ukuran Ayakan (AxB) (gram)
	ASTM	(mm)			
1	3/4"	19	0	1100	0
2	1/2"	13	9		99
3	3/8"	10	10		110
4	No.4	5	22		242
5	No.8	2	16		176
6	No.16	1	10		110
7	No.30	1	8		88
8	No.50	0	9		99
9	No.200	0	10		110
10	Pan	0	6		66

Tabel 4.11. Jumlah Kebutuhan Aspal untuk 1 benda uji pada setiap kadar aspal

Kadar Aspal (%) (a)	Berat Agregat 1 Benda Uji (gram)(b)	Berat Aspal (gram) (a/(100-a))xb
4,5	1100	51,83
5		57,89
5,5		64,02
6		70,21
6,5		76,47
7		82,80

Catatan : Untuk benda uji dengan aspal blend BNA 75/25, berat aspal pen 60/70 adalah 25% dari berat total agregat dan BNA 75% dari berat total agregat.

4.6. Menentukan Jumlah Kebutuhan Bahan Agregat dan Aspal untuk Benda Uji Skid Resistance

Dalam pembuatan benda uji skid resistance ukuran 30cmx30cmx5cm, sebelumnya dilakukan perancangan campuran dengan mengacu pada pengujian Marshall yaitu dengan membandingkan volume benda uji marshall dan benda uji skid resistance.

Dimensi benda uji Marshall; Diameter = 10,16 cm,

Jari-jari(r) = 5,08 cm,

Tinggi = 6,27 cm

Volume benda uji Marshall = $\pi r^2 \times t$

= 3,14 x (5,08)² x 6,27

= 508,07 cm³

Tabel 4.12. Jumlah Kebutuhan Agregat per Gradasi untuk 1 Benda Uji Skid Resistance

No	Ukuran Ayakan (mm)		% Berat Tertahan (A)	Berat Agregat 1 Benda Uji (gram) (B)	Berat Tiap Ukuran Ayakan
	ASTM	(mm)			(AxB) (gram)
1	3/4"	19	0	10035,03	0
2	1/2"	13	9		903,15
3	3/8"	10	10		1003,50
4	No.4	5	22		2207,71
5	No.8	2	16		1605,60
6	No.16	1	10		1003,50
7	No.30	1	8		802,80
8	No.50	0	9		903,15
9	No.200	0	10		1003,50
10	Pan	0	6		602,10

Dimensi benda uji skid resistance; Panjang = 30cm

Lebar = 30cm

Tinggi = 5cm

Volume benda uji skid resistance = p x l x t

$$= 30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 5\text{cm}$$

$$= 4500 \text{ cm}^3$$

Jadi berat agregat untuk 1 buah benda uji skid resistance didapat dari :

$$= \frac{4500}{508,07} \times 1100$$

$$= 9742,75 \text{ gram} \times \text{faktor koreksi (1,03)}$$

$$= 10035,03 \text{ gram}$$

Pada pembuatan benda uji skid resistance digunakan 2 jenis campuran aspal, yaitu

- Pen 60/70 (benda uji 1)
- Pen 60/70 + BNA (benda uji 2)
- ✓ Untuk benda uji 1 dibuat dengan kadar aspal optimum Marshall (5,9%).

$$\text{Jadi berat aspal Pen 60/70} = \frac{5,9}{100 - 5,9} \times 10035,03$$

$$= 629,19 \text{ gram}$$

✓ Untuk benda uji 2 dibuat dengan penambahan BNA blend rasio 75/25, dapat diartikan 75 % aspal Pen 60/70 dan 25% BNA, jadi berat aspal Pen 60/70 dan BNA dalam 1 benda uji adalah :

- Berat aspal Pen 60/70 = $(75/100) \times 629,19$ gram
= 471,89 gram
- Berat BNA = $(25/100) \times 629,19$ gram
= 157,3 gram

4.7. Hasil Analisa Marshall Pada Kadar Aspal Rencana

Proses pengujian Marshall dapat dilakukan setelah seluruh persyaratan material, berat jenis, penyerapan aspal dan perkiraan kadar aspal rencana telah terpenuhi. Diperlukan juga tabel angka koreksi dan kalibrasi pada alat uji tekan Marshall dalam perhitungan stabilitas marshall setelah disesuaikan dari lbf menjadi kilogram. Sedangkan hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 4.13. di bawah ini.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal Rencana dengan 2x75 Tumbukan

Karakteristik Campuran	Hasil Pengujian						Spesifikasi
	4.5	5	5.5	6	6.5	7.0	
Kadar Aspal, %	4.5	5	5.5	6	6.5	7.0	
Berat Isi; t/m ³	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	2.94.9	>250 Kg/mm

Setiap variasi kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal penetrasi 60/70, dilakukan pencampuran benda uji sampai pada temperatur 155 °C lalu dipadatkan pada temperatur 145 °C dengan menggunakan alat pemadat

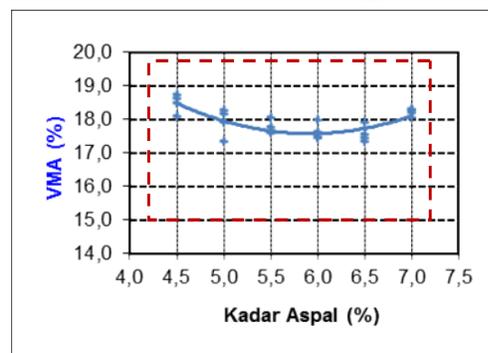
Marshall dengan jumlah tumbukan 2 x 75. Setelah di benda uji dibuat selanjutnya dapat diuji dan kemudian dari pengolahan data hasil uji dari beberapa parameter marshall didapatkan kadar aspal optimum marshall standar. Dapat dilihat dari tabel 4.13 hasil pengujian Marshall pada kadar aspal rencana, semua karakteristik memenuhi persyaratan sifat campuran Laston.

Dari data pengujian Marshall, dilakukan pengujian Kepadatan Mutlak (*Refusal Density*). Penentuan kadar aspal untuk pengujian kepadatan mutlak (PRD), ditentukan berdasarkan trend kurva VIM uji Marshall, dari VIM 6% diambil kadar aspal +0,5% dan -0,5%. Yaitu didapat kadar aspal 5 %, 5.5 % dan 6.0 %. Dalam pembuatan benda ujinya, untuk suhu pencampuran disamakan dengan pencampuran benda uji Marshall, namun bedanya pada volume benda uji dan jumlah tumbukan pemadatan yaitu 400 kali.

Pada pengujian campuran Pen 60/70, KAOMarshall didapat 5,9 % dan KAO *Refusal* 5.65 %. KAO *Refusal* dalam penelitian ini dilakukan sebagai kontrol untuk mengetahui *VimRef*, apakah memenuhi persyaratan (*VIMRef* 2.5 %). Untuk pengujian penelitian selanjutnya, benda uji yang digunakan adalah campuran KAO Marshall.

Berikutnya, setelah semua data diolah, hasilnya dapat digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter marshall yang dicari lainnya. Hasil lengkap pengujian Marshall dan pengujian Kepadatan Mutlak, yang dibatasi dengan garis putus-putus adalah batasan parameter yang memenuhi persyaratan campuran Laston untuk setiap variasi kadar aspal dalam campuran, dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

- VMA (Voids in The Mineral Agregat)

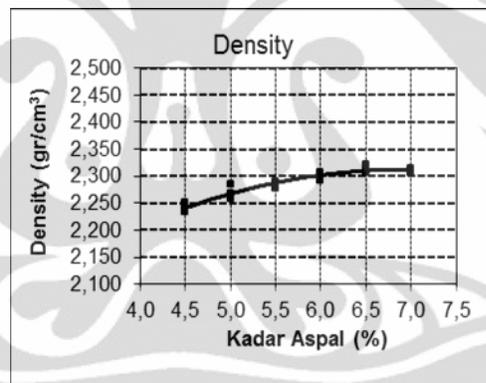


Gambar 4.3 Grafik Kadar Aspal vs VMA

Nilai VMA menunjukkan banyaknya rongga yang terisi aspal 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*.

Dari hasil pengujian marshall didapat nilai VMA memenuhi persyaratan yaitu minimum 14% pada ukuran maksimum ayakan agregat adalah $\frac{3}{4}$ " yang dipakai dalam penelitian ini.

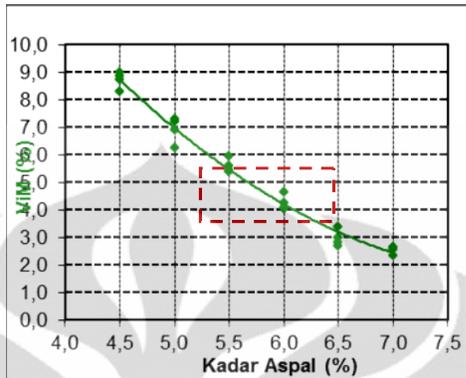
- Density (Kepadatan)



Gambar 4.4 Grafik Kadar Aspal vs Density

Kepadatan untuk kenaikan kadar aspal akan memberikan nilai kenaikan juga terhadap nilai kepadatannya, sebagaimana terlihat pada gambar 4.4. Nilai density diperoleh dari hasil penimbangan berat benda uji yaitu dari berat contoh kering dibagi isi contoh.

- VIM (*Void in Mixture*)

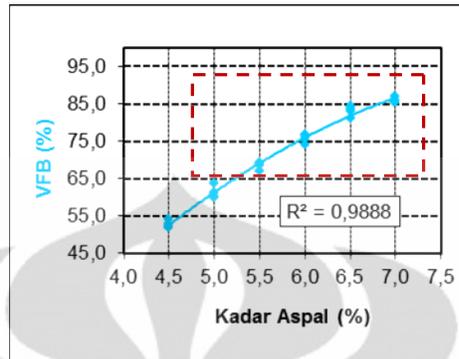


Gambar 4.5 Grafik Kadar Aspal vs VIM

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 kecenderungan 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 kelelahan 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.

. Pengaruh perubahan kadar aspal terhadap rongga dalam campuran (VIM) dapat dilihat pada tabel 4.5 dengan penambahan kadar aspal akan menyebabkan nilai VIM semakin turun, ini menunjukkan bahwa campuran tersebut semakin rapat. Dengan bertambahnya kadar aspal, maka akan menyebabkan jumlah aspal yang menyelimuti agregat menjadi lebih banyak sehingga mengurangi rongga dalam campuran. Dari tabel 4.5 terlihat bahwa tidak semua benda uji mempunyai nilai VIM yang memenuhi persyaratan yaitu minimum 3% dan maksimum 5%.

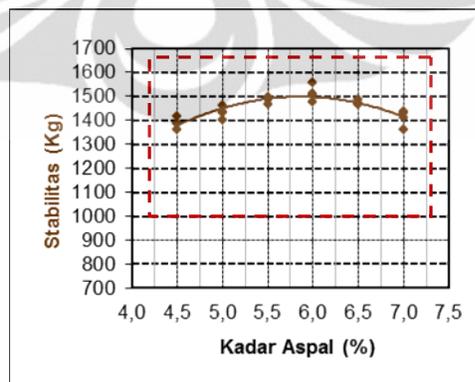
- VFB (*Void Filled with Bitumen*)



Gambar 4.6 Grafik Kadar Aspal vs VFB

Rongga Terisi Aspal Kadar aspal dan tebal tipis aspal secara volumetrik 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. Pengaruh utama VFB adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum.. Dapat dilihat pada gambar 4.6 dengan penambahan kadar aspal maka nilai VFB akan semakin naik juga.

- Stabilitas



Gambar 4.7 Grafik Kadar Aspal vs Stabilitas

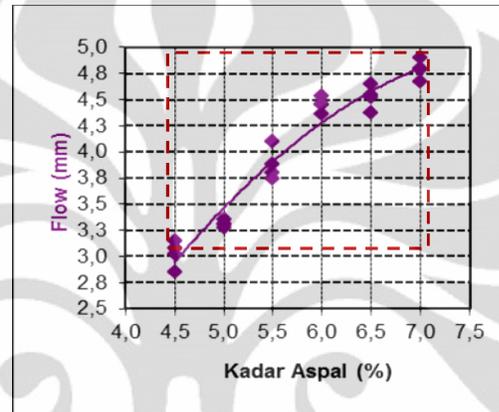
Nilai stabilitas merupakan parameter empiris untuk mengukur kemampuan dari campuran aspal untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh suatu pembebanan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas diantaranya adalah

Universitas Indonesia

gradasi agregat dan kadar aspal. Selain itu stabilitas dipengaruhi oleh *interlocking*, adhesi, dan *internal friction*.

Dari gambar 4.7 terlihat nilai stabilitas memenuhi persyaratan minimum yaitu 550 kg untuk benda uji dengan penumbukan 2×75 .

- Kelelahan (Flow)

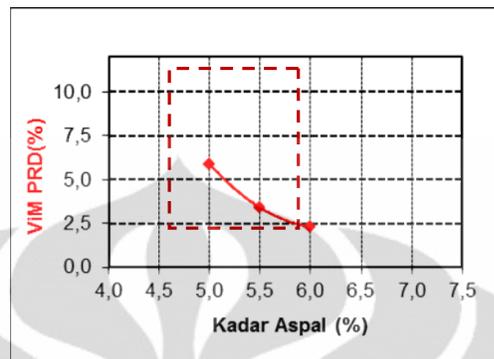


Gambar 4.8 Grafik Kadar Aspal vs Flow

Kelelahan (*Flow*) merupakan parameter empiris yang menjadi indikator terhadap kelenturan atau perubahan bentuk plastis campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban. Tingkat kelelahan campuran dipengaruhi oleh kadar aspal dalam campuran, temperatur, viskositas aspal dan bentuk partikel agregat. Campuran yang mempunyai nilai kelelahan relatif rendah pada Kadar Aspal Optimum, biasanya memiliki daya tahan deformasi yang lebih baik. Nilai *flow* yang rendah bila dikombinasikan dengan stabilitas yang tinggi, menunjukkan suatu campuran yang lebih kaku.

Terlihat pada gambar 4.8, nilai kelelahan masuk dalam persyaratan yaitu sebesar 2-5mm. Dengan semakin tinggi kadar aspal maka nilai kelelahan akan semakin besar pula, hal ini dikarenakan semakin banyaknya aspal yang digunakan maka jumlah agregat yang digunakan akan semakin sedikit dan akan membuat campuran aspal semakin elastis sehingga laston akan mengalami deformasi yang besar pada saat diberi beban.

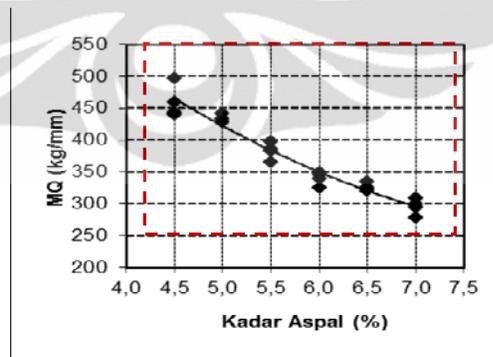
- VIM PRD (*Void in Mixture Refusal Density*)



Gambar 4.9 Grafik Kadar Aspal vs VIM PRD

Sebagai simulasi dari pemadatan lanjutan oleh beban lalu lintas adalah kepadatan mutlak. Sama seperti VIM pada pemadatan 2x75, semakin tinggi kadar aspal yang dipakai maka nilai VIM akan semakin turun. Untuk nilai VIM *ref* akan lebih kecil dibanding VIM 2x75 yaitu akibat berkurangnya rongga campuran akibat pemadatan *refusal* (pemadatan dengan alat getar listrik setara Marshall 2x400 tumbukan). Penurunan rongga udara dalam campuran (VIM) dapat menjadi indikasi ketahanan campuran terhadap deformasi plastis

- MQ (Marshall Quotient)

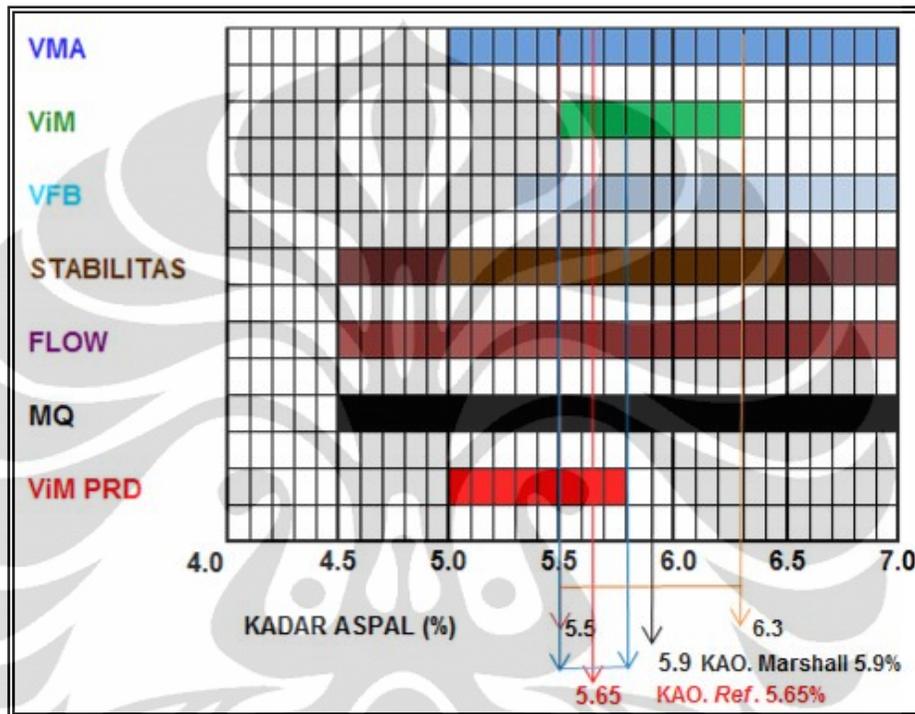


Gambar 4.10 Grafik Kadar Aspal vs MQ

Dari gambar 4.10 dapat disimpulkan dengan penambahan kadar aspal maka nilai Marshall Quotient akan semakin turun juga dan tidak semua benda uji masuk dalam persyaratan MQ untuk laston yaitu 250-300 kg/mm. Semakin tinggi nilai

MQ, semakin rentan terhadap keretakan, sebaliknya semakin rendah nilai MQ kelelahan plastis semakin tinggi dan stabilitas dinamis lebih rendah.

- Penentuan Kadar Aspal Optimum Marshall Standar



Gambar 4.11 Barchart Penentuan Kadar Aspal Optimum.

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 KAO Marshall dan KAO Refusal. KAO ditentukan dengan metode *Barchat* yang merupakan rentang kadar aspal, yang memenuhi semua kriteria yang disyaratkan untuk campuran beraspal panas, yaitu: ViM Marshall, ViM Ref, VMA, VFB, Stabilitas, Kelelahan dan Marshall Quotient. Untuk KAO Marshall, parameter ViM Ref tidak dijadikan sebagai syarat, tetapi untuk KAO Ref, parameter ViM Ref menjadi salah satu syarat. Berdasarkan gambar 4.11 diperoleh nilai kadar aspal optimum Marshall 5,9 % dan 5,65% untuk kadar aspal optimum *refusal density*.

4.8. Karakteristik Marshall AC-WC Modifikasi BNA.

Untuk mengetahui karakteristik laston pen 60/70 dan blend BNA 75/25 maka dilakukan pengujian marshall terhadap benda uji. Pengujian dilakukan dengan membuat 3 benda uji dengan proses pengujian sama seperti Marshall standar dengan menggunakan kadar aspal optimum Marshall Pen 60/70, yaitu 5.9 %. Dengan menggunakan kadar aspal 5.9 % (termasuk jumlah total aspal) yang dijadikan campuran Modifikasi BNA 75/25 (Pen 60/70 = 75% dan BNA = 25%) .

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Marshal pada KAOMr 5.9%

Karakteristik Campuran	Hasil Pengujian		Syarat Spesifikasi
	PEN60/70	Modif. BNA	
Kadar Aspal, %	5.90	5.90	
Berat Isi; t/m ³	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

Seperti yang diperlihatkan hasil pengujian Marshall dalam tabel 4.14, dari kedua jenis campuran dengan menggunakan KAO yang sama (5.9%), memenuhi persyaratan Departemen Pekerjaan Umum 2008. Hasil pengujian terlihat perbedaan yang tidak begitu signifikan, kecuali nilai Stabilitas dan Marshall Quotient. Stabilitas campuran modifikasi BNA didapat 1687.99 Kg dan campuran Pen 60/70 = 1496.33 Kg, lebih besar 11.35 % campuran modifikasi BNA dibanding campuran Pen 60/70. Perbedaan tersebut disebabkan kandungan *filler hirophobic* dalam jumlah yang optimal serta tersebar merata dalam BNA akan membentuk mastic aspal menjadi lebih kuat (Aston Adhi Jaya, 2010). Marshall Quotient yang dihasilkan kedua jenis campuran terlihat bahwa nilai MQ campuran modifikasi BNA lebih besar dibandingkan nilai MQ campuran Pen 60/70 yaitu dengan selisih sebesar 44.1%. Semakin tinggi nilai MQ, semakin rentan terhadap

keretakan, sebaliknya semakin rendah nilai MQ kelelehan plastis semakin tinggi dan stabilitas dinamis lebih rendah.

4.9. Indeks Kekuatan Marshall Sisa

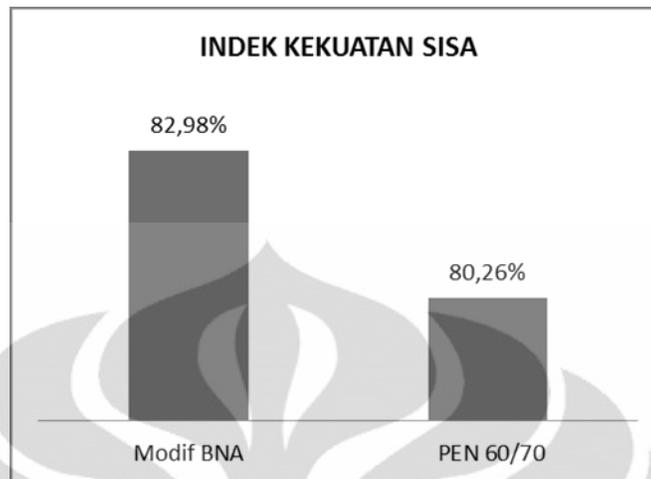
Indeks Kekuatan Marshall Sisa (Stabilitas Sisa), dilakukan pengujian pada Kadar Aspal Optimum Marshall untuk kedua jenis campuran, yaitu 6 benda uji untuk campuran Pen 60/70 dan 6 untuk campuran dengan aspal modifikasi BNA. Masing-masing jenis 3 benda uji untuk pengujian marshall standar dan 3 untuk pengujian perendaman 24 jam pada temperatur 60°C.

Dengan membandingkan stabilitas Marshall standar dengan stabilitas Marshall *Immersion* (setelah perendaman 24 jam), diperoleh Indeks Kekuatan Sisa Marshall untuk masing-masing jenis campuran. Data dan hasil perhitungan uji perendaman Marshall, diperlihatkan pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Marshall Immersion.

Karakteristik Campuran	Hasil Pengujian		Syarat Spesifikasi
	PEN 60/70	Modif. BNA	
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 %

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 agregat dengan aspal antara lain bergantung pada bentuk dan jumlah pori agregat, sifat *rheologi* aspal, kadar aspal, kepadatan, kandungan rongga, dan gradasi agregat.



Gambar 4.12 Indeks Kekuatan Sisa Campuran Modifikasi BNA dan Pen 60/70

Berdasarkan uji perendaman Marshall (*Immersion*) diperoleh bahwa IKS pada campuran dengan aspal modifikasi BNA sebesar (82.98%) dan campuran dengan aspal Pen 60/70 sebesar (80.27%). Kedua campuran ini memenuhi persyaratan nilai IKS untuk laston minimal 80%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan menggunakan campuran campuran aspal modifikasi BNA mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap pengaruh air dan temperatur dibandingkan dengan campuran yang menggunakan campuran aspal Pen 60/70. Kehilangan nilai stabilitas Marshall setelah rendaman, dinilai sebagai kerusakan perkerasan akibat pengaruh air dan temperatur.

4.10 Hasil Pengujian Skid Resistance

Pengujian *Skid Resistance* dilakukan dengan benda uji ukuran 12cmx12cmx5cm, 2 jenis bahan campuran yaitu laston PEN 60/70 dan laston aspal PEN 60/70 + BNA, dengan variasi suhu pengujian 30⁰C, 35⁰C, 40⁰C, 45⁰C, 50⁰C, 55⁰C, masing-masing variasi suhu, benda uji berjumlah 3 buah, cara pengujian yaitu dengan melepaskan karet peluncur menggesek atau menyinggung permukaan benda uji dan selanjutnya dapat diketahui nilai kekesatan (BPN) dari jarum penunjuk, kemudian catat dan masukkan ke dalam tabel pengisian nilai BPN dengan pencatatan hasil rata-rata. Berikut hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.16 dan 4.18

Tabel 4.16 Hasil pengujian Skid Resistance dengan variasi suhu pada campuran **Aspal PEN 60/70**

PEMBACAAN KEKESATAN (BPN)										
TEMPERATUR PERMUKAAN (°C)	SAMPLE 1					Rata-rata (X)	$\sum(X-x_i)^2$	Standar Deviasi		
	1	2	3	4	5			$SD=\sqrt{\sum(x_i-X)^2/N}$	X+SD	X-SD
30	60	64,5	57	60	57	59,7	27,800	2,750	62,45	56,95
35	58,5	59	60	61	60	59,7	3,800	0,872	60,57	58,83
40	55	55	56	55	55	55,2	0,800	0,400	59,60	54,80
45	54	55	55	55	56	55	7,100	1,642	55,64	54,37
50	56	56	56	56	56	56	0,000	0,000	56,00	56,00
55	50	54	50	49	50	50,6	15,200	1,744	52,34	48,85
TEMPERATUR PERMUKAAN (°C)	SAMPLE 2					Rata-rata (X)	$\sum(X-x_i)^2$	Standar Deviasi		
	1	2	3	4	5			$SD=\sqrt{\sum(x_i-X)^2/N}$	X+SD	X-SD
30	60	61	58	58	60	59,4	7,200	1,200	60,60	58,20
35	58	59	58	58	59	58,8	10,800	1,440	58,77	55,34
40	50	53	54	55	55	53,4	17,200	1,655	55,25	51,55
45	60	61	58	59	60	59,6	5,700	1,140	60,62	58,54
50	60	60	61	62	61	60,8	2,800	0,748	61,55	60,05
55	53	51	50	50	51	51	6,000	1,095	52,10	49,90
TEMPERATUR PERMUKAAN (°C)	SAMPLE 3					Rata-rata (X)	$\sum(X-x_i)^2$	Standar Deviasi		
	1	2	3	4	5			$SD=\sqrt{\sum(x_i-X)^2/N}$	X+SD	X-SD
30	60	64	64,5	65	57	62,1	48,200	3,105	65,20	59,00
35	56	59	59	60	60	58,8	10,800	1,440	60,77	57,34
40	58	55	56	56	56	56,6	7,200	1,200	57,80	55,40
45	57	59	56	57	56	57	6,000	1,095	58,10	55,90
50	55	55	55	55,5	55	55,1	0,200	0,200	55,30	54,90
55	52	51	50	50	50	50,6	3,200	0,800	51,40	49,80

Tabel 4.17 Nilai BPN Akhir (Pen 60/70)

Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3	
Temperatur Permukaan (°C)	Rata-rata (BPN)	Temperatur Permukaan (°C)	Rata-rata (BPN)	Temperatur Permukaan (°C)	Rata-rata (BPN)
30	58,50	30	59,00	30	62,10
35	59,38	35	56,80	35	59,67
40	55,00	40	54,25	40	55,67
45	57,75	45	57,13	45	56,50
50	56,00	50	55,50	50	55,00
55	49,75	55	50,50	55	50,25

Tabel 4.18 Hasil pengujian Skid Resistance dengan variasi suhu pada campran **Aspal PEN 60/70 + BNA**

PEMBACAAN KEKESATAN (BPN)										
TEMPERATUR PERMUKAAN (°C)	SAMPPL 1					Rata-rata (x)	$\sum(X-x_i)^2$	Standar Deviasi $SD=\sqrt{(\sum(x_i-x)^2)/N}$	X+SD	X-SD
	1	2	3	4	5					
30	76	76	77	75	75	75,8	2,800	0,748	76,55	75,05
35	70	74	72	75	71	73	16,000	1,739	74,79	71,21
40	50	50	50	49	51	50	2,000	0,632	50,53	49,37
45	50	63	52	65	65	63	18,000	1,897	64,90	61,10
50	59	62	54	64	62	62,2	16,800	1,833	64,03	60,37
55	58	58	58	56	55	57	3,000	1,255	58,26	55,74
TEMPERATUR PERMUKAAN (°C)	SAMPPL 2					Rata-rata (x)	$\sum(X-x_i)^2$	Standar Deviasi $SD=\sqrt{(\sum(x_i-x)^2)/N}$	X+SD	X-SD
	1	2	3	4	5					
30	75	75,5	79	75	70	76,7	17,800	1,837	78,59	74,81
35	55	54	55	55	55	54,8	0,800	0,100	55,20	54,40
40	50	54	55	49	49	51,4	33,200	2,577	53,98	48,82
45	70	69	59	70	72	70	5,000	1,095	71,10	68,90
50	51	54	51	48	48	50,4	25,200	2,245	52,54	48,16
55	50	62	51	60	60	60,6	3,200	0,800	61,40	59,80
TEMPERATUR PERMUKAAN (°C)	SAMPPL 3					Rata-rata (x)	$\sum(X-x_i)^2$	Standar Deviasi $SD=\sqrt{(\sum(x_i-x)^2)/N}$	X+SD	X-SD
	1	2	3	4	5					
30	75	76	75	77	77	76	4,000	0,804	76,80	75,11
35	59	64	54	68	65	66	22,000	2,098	68,10	63,90
40	75	77	70	69	70	72,2	50,800	3,187	75,39	69,01
45	55	65	55	65	61	64,2	12,800	1,600	65,80	62,60
50	50	65	55	60	63	62,6	25,200	2,245	64,84	60,36
55	50	60	50	61	62	60,6	3,200	0,800	61,40	59,80

Tabel 4.19 Nilai akhir BPN (Pen 60/70 + BNA)

Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3	
Temperatur Permukaan (°C)	Rata-rata (BPN)	Temperatur Permukaan (°C)	Rata-rata (BPN)	Temperatur Permukaan (°C)	Rata-rata (BPN)
30	75,50	30	75,17	30	76,00
35	73,33	35	69,29	35	65,25
40	71,00	40	71,00	40	71,00
45	62,50	45	69,50	45	65,00
50	63,00	50	62,00	50	61,00
55	57,00	55	60,25	55	60,25

Dengan cara melepaskan karet peluncur menggesek atau menyinggung permukaan benda uji dan selanjutnya dapat diketahui nilai kekesatan (BPN) dari jarum penunjuk, kemudian dibaca dan dilakukan berulang sebanyak 5 kali peluncuran karet ke permukaan benda uji sesuai AASHTO M261, dengan 5 kali pembacaan pada setiap variasi suhu permukaan dan kemudian dicatat ke dalam form pengujian.

Dari tabel 4.16 dan 4.18 semua hasil pengujian dari benda uji LASTON PEN 60/70 dan LASTON + BNA dapat dilihat dengan parameter :

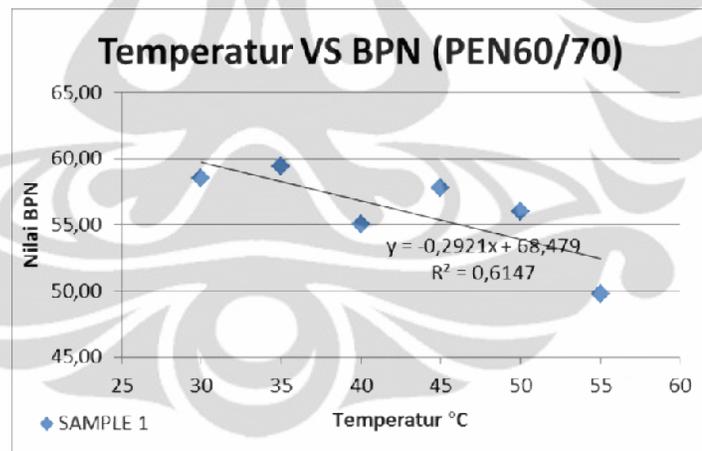
- Nilai pembacaan sebanyak 5 kali,
- Kemudian dari 5 nilai tersebut dirata-ratakan,

- Dihitung Standart Deviasi (SD) / simpangan baku dari nilai-nilai tersebut,
- Yang kemudian dapat diketahui batas atas ($x+SD$) dan batas bawah($x-SD$),
- Nilai- nilai sebanyak 5 kali tersebut dicacah menurut range batas atas dan batas bawah, nilai yang tidak masuk dibuang dan kemudian nilai yang masuk dirata-ratakan kembali untuk didapat nilai pembacaan yang sesuai.
- Dari pencacahan nilai didapat nilai akhir pembacaan skid resistance (BPN)

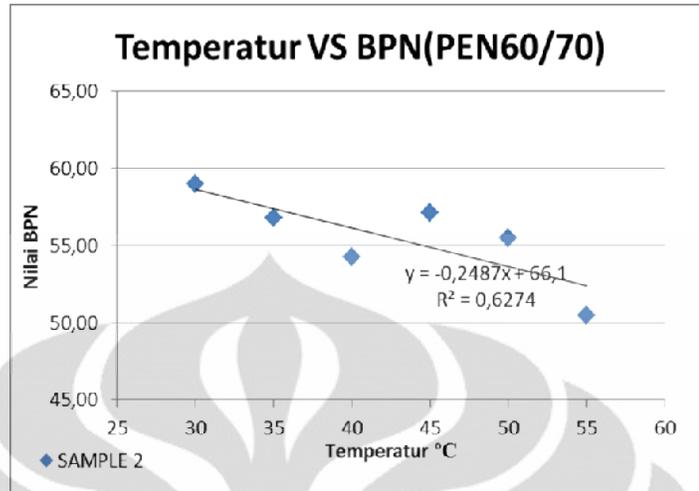
4.11 Analisa Hasil Pengujian Skid Resistance

Dari hasil yang didapatkan dari pengolahan data pengujian *skid resistance*, dapat digambarkan kedalam grafik hubungan temperature dan nilai *skid resistance* / BPN (*British Pendulum Number*) dari 2 jenis benda uji yaitu LASTON PEN 60/70 dan LASTON PEN 60/70 + BNA yang masing – masing jenis benda uji berjumlah 3 buah.

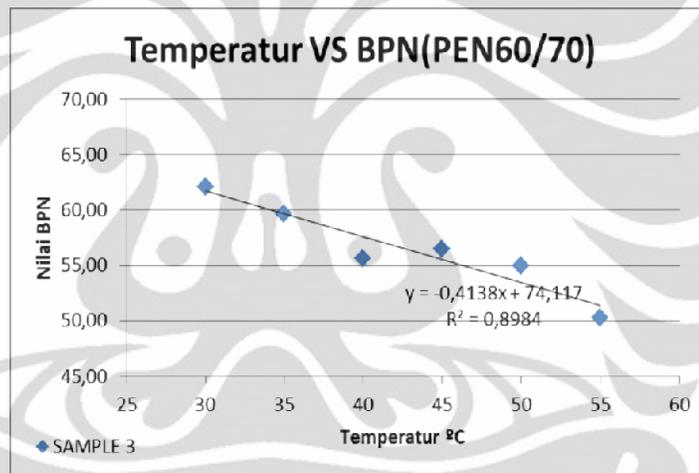
4.11.1. LASTON PEN 60/70



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN pada BENDA UJI 1(PEN 60/70)



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Temperatur vs BPN pada BENDA UJI 2 (PEN 60/70)

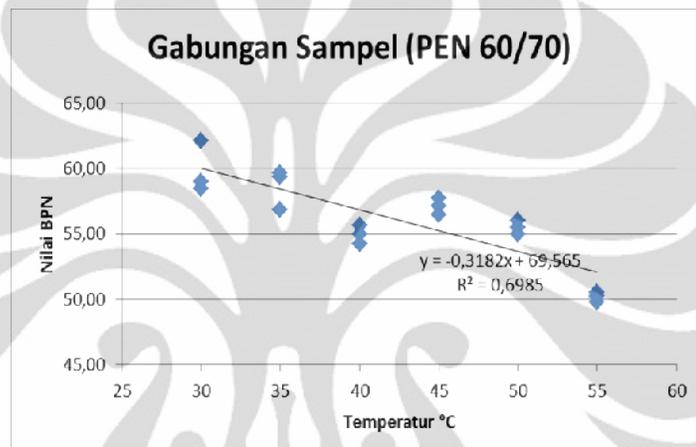


Gambar 4.15. Grafik Hubungan Temperatur vs BPN pada BENDA UJI 3 (PEN 60/70)

Dapat dilihat dari ketiga grafik diatas Gambar 4.13, Gambar 4.14, Gambar 4.15 dari tiap- tiap sampel pada LASTON PEN 60/70, dengan kenaikan temperatur sangatlah berpengaruh terhadap nilai kekesatan permukaan (BPN). Apabila temperatur semakin naik maka nilai BPN akan cenderung semakin turun.

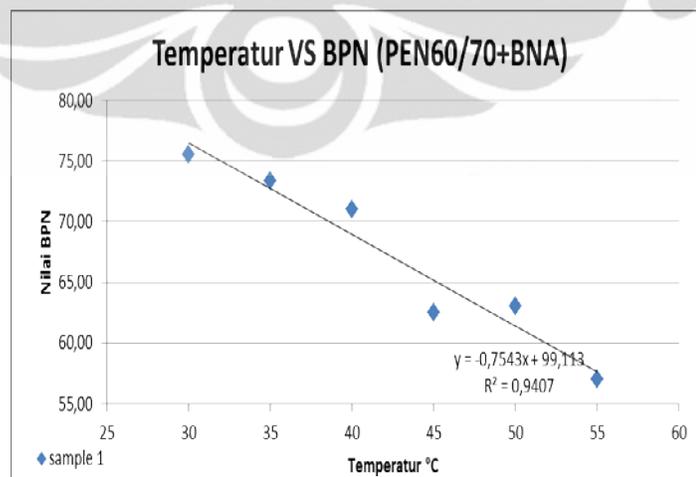
Untuk nilai kekesatan permukaan (skid resistance) dari tiap-tiap benda uji dengan jenis dan komposisi bahan yang sama, didapat nilai yang paling konsisten dan mendekati terletak pada hasil pengujian benda uji ke 3 dengan nilai R^2 paling mendekati 1 yaitu 0,8984. Sehingga dapat disimpulkan data yang diperoleh pada pengujian benda uji 3 lebih valid dibanding benda ujian yang lainnya

Dan apabila digabung seperti terlihat pada gambar 4.16, dari benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 maka dapat terlihat masing – masing nilai BPN hampir menunjukkan nilai yang berdekatan, yaitu pada suhu 40°C, 45°C, 50°C dan 55°C nilai BPN hampir sama dari ketiga benda uji, tetapi pada suhu 30°C, 35°C meskipun hasil tidak sama tetapi tidak terlalu jauh nilainya di kisaran antara benda uji satu dengan lainnya yaitu pada nilai BPN 56 sampai 62 yang masih masuk dalam hubungan linier.

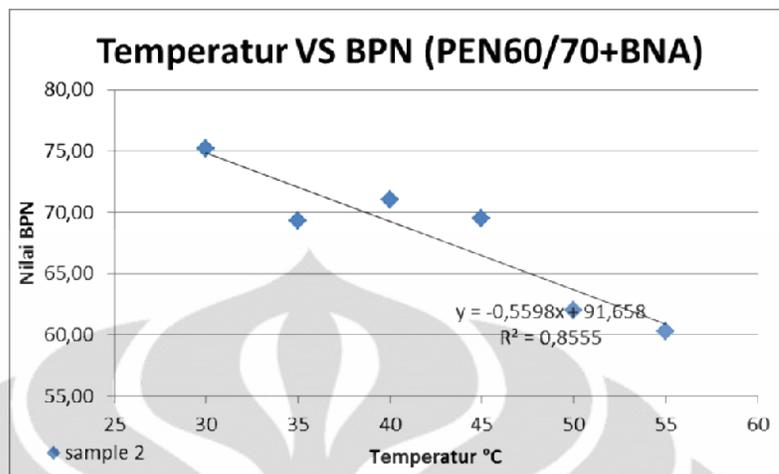


Gambar 4.16. Grafik Hubungan Temperatur vs BPN untuk gabungan semua benda uji (PEN 60/70)

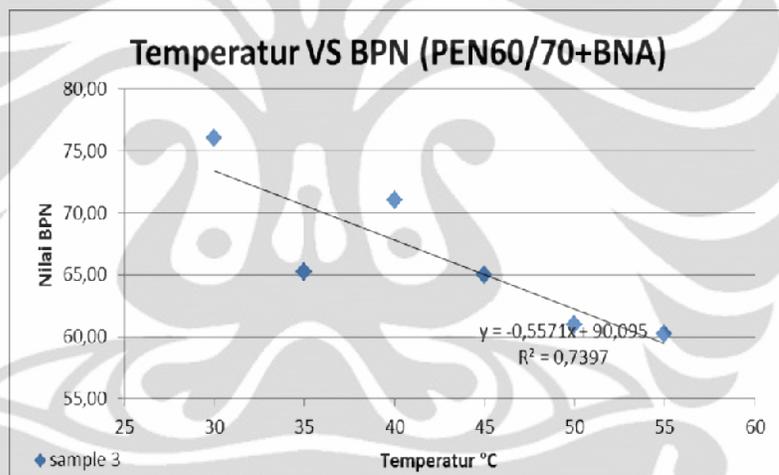
4.11.2. LASTON PEN 60/70 + BNA



Gambar 4.17. Grafik Hubungan Temperatur vs BPN pada BENDA UJI 1 (PEN 60/70+BNA)



Gambar 4.18. Grafik Hubungan Temperatur vs BPN pada BENDA UJI 2 (PEN 60/70+BNA)



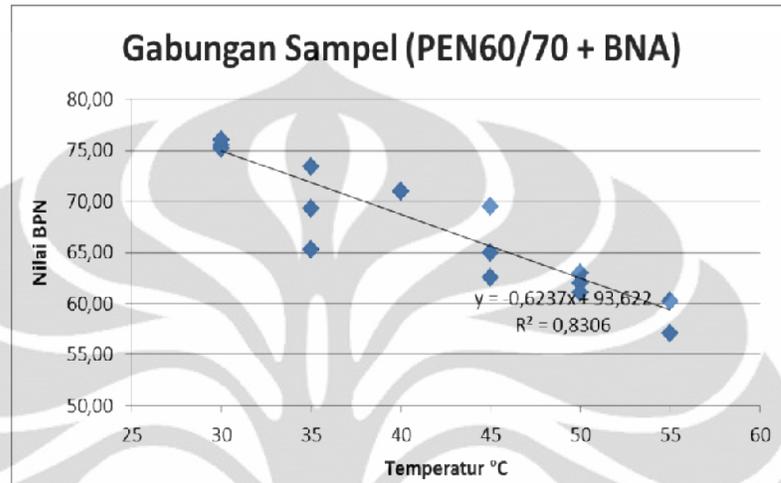
Gambar 4.19. Grafik Hubungan Temperatur vs BPN pada BENDA UJI 3 (PEN 60/70+BNA)

Begitu pula dengan jenis benda uji LASTON PEN 60/70 + BNA, dilihat dari gambar 4.17, gambar 4.18, dan gambar 4.19 menunjukkan dengan naiknya temperatur permukaan maka nilai kekesatan permukaan akan cenderung turun.

Untuk nilai kekesatan permukaan (skid resistance) dari tiap-tiap benda uji dengan jenis dan komposisi bahan yang sama, didapat nilai yang paling konsisten dan mendekati terletak pada hasil pengujian benda uji ke 1 dengan nilai R^2 mendekati 1 yaitu 0,9123. Sehingga dapat disimpulkan data yang diperoleh pada pengujian benda uji 1 lebih valid dibanding benda ujian yang lainnya.

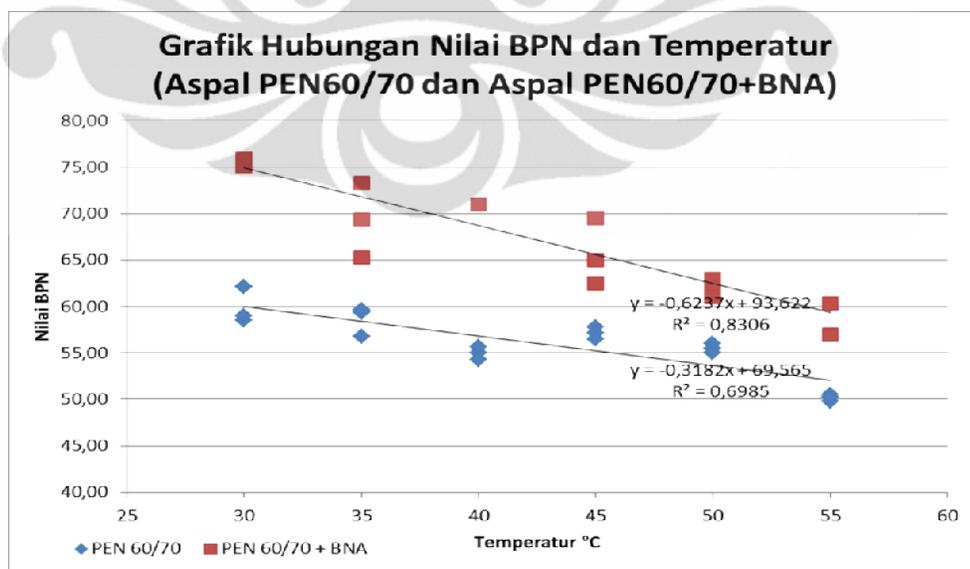
Untuk lebih jelasnya apabila dari ketiga grafik tiap benda uji diatas digabung menjadi satu grafik dapat terlihat pada gambar 4.20 di bawah ini, nilai

BPN pada suhu 30°C dan 40°C mempunyai nilai BPN yang hampir sama dari tiap benda uji, tetapi pada suhu 35°C, 45°C, 50°C, 55°C nilai BPN menunjukkan hasil yang tidak sama tetapi tidak terlalu jauh nilainya di nilai BPN 57 sampai 76 yang masih masuk dalam hubungan linier.



Gambar 4.20. Grafik Hubungan Temperatur vs BPN untuk gabungan semua benda uji (PEN 60/70 +BNA)

4.11.3. Hubungan Nilai Skid Resistance (BPN) terhadap Temperatur Permukaan antara LASTON PEN 60/70 dan LASTON PEN 60/70 + BNA.



Gambar 4.21. Grafik Hubungan Temperatur vs BPN (PEN 60/70 & PEN 60/70 +BNA)

Terlihat pada grafik diatas, hubungan linier menunjukkan nilai kekesatan permukaan (BPN) pada benda uji LASTON PEN 60/70 dan LASTON PEN 60/70 modif BNA mempunyai kesamaan yaitu sama-sama mengalami penurunan nilai kekesatan (BPN) seiring dengan naiknya temperatur permukaan. Disamping terdapat kesamaan penurunan nilai BPN, juga terdapat perbedaan pada besar nilai BPN yaitu pada LASTON PEN 60/70 sedikit berada dibawah LASTON PEN 60/70 + BNA. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan BNA pada LASTON PEN 60/70, maka nilai kekesatan permukaan (BPN) akan semakin lebih tinggi dibanding pada LASTON PEN 60/70 tanpa BNA. Tetapi dengan adanya penambahan BNA pada LASTON PEN 60/70 menunjukkan *trendline* nilai BPN yang lebih miring dibanding tanpa BNA, sehingga dapat diketahui dengan penambahan BNA pada campuran aspal beton berakibat pada cepat turunnya nilai kekesatan permukaan (BPN) dengan kenaikan suhu yang terjadi dan dari sini juga dapat diketahui bahwa sifat dari BNA yang lebih sensitif terhadap suhu. Dari fenomena tersebut dapat dianalisa dari dua nilai antara lain dilihat berdasarkan :

✓ Nilai Penetrasi Aspal

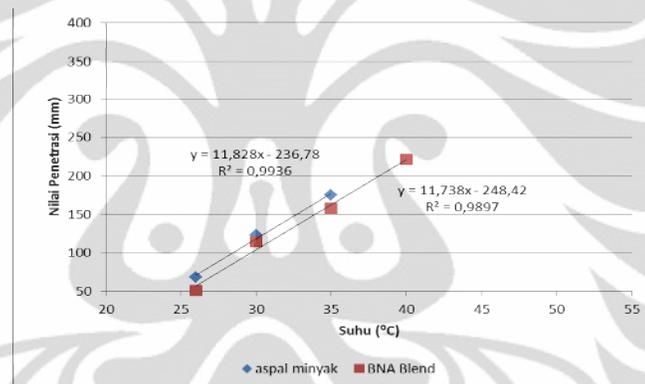
Dilihat dari uji penetrasi, dari kedua jenis aspal tersebut mempunyai perbedaan nilainya. Aspal blend BNA 75/25 mempunyai penetrasi sebesar 51, lebih rendah dari penetrasi aspal minyak pen 60/70 yaitu 66. Dapat dikatakan sifat aspal BNA blend 75/25 (penetrasi 51) mempunyai sifat lebih keras dari pada aspal Pen 60/70. Pada gambar 4.21, grafik menunjukkan perbedaan nilai *skid resistance* (BPN) antara benda uji campuran aspal pen 60/70 dan aspal pen 60/70 + BNA. Perbedaan itu salah satunya disebabkan oleh penetrasi aspal. Terlihat bahwa pada aspal BNA dengan penetrasi lebih rendah dari aspal pen minyak Pen 60/70, seiring kenaikan suhu pada benda uji penetrasi rendah (Aspal BNA) maka nilai *skid resistance* (BPN) akan lebih besar dibanding dengan benda uji dengan penetrasi lebih tinggi (Aspal 60/70). Hal ini dapat diartikan penetrasi aspal mempengaruhi nilai kekesatan permukaan sejalan dengan peningkatan suhu. Kekesatan permukaan akan berkurang yang dipengaruhi oleh daya kelekatan suatu agregat terhadap aspal, yang mana daya lekat suatu agregat dipengaruhi oleh sifat kohesi aspal itu sendiri.

Kohesi adalah gaya ikatan aspal yang berasal dari daya lekat aspal terhadap agregat. Daya kohesi terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal. Akibat gesekan pada temperature tinggi, aspal pengikat akan menjadi lunak, maka terjadi penurunan nilai kekesatan permukaan

Tabel 4.20 Nilai Penetrasi pada variasi suhu

SUHU PENETRASI (°C)	NILAI PENETRASI (mm)	
	PEN 60/70	BNA BLEND 75/25
25	68	51
30	123,0	114,0
35	175,0	158,0
40	-	221,0

Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium Struktur dan Material DTS FTUI



Gambar 4.22. Grafik Hubungan Temperatur vs Nilai Penetrasi (PEN 60/70 & PEN 60/70 +BNA)

✓ Nilai Titik Lembek Aspal

Dilihat dari nilai titik lembek aspal pada penetrasi 60/70 dan BNA blend 75/25 mempunyai perbedaan, yaitu pada aspal Pen 60/70 sebesar 51,5 °C, sedangkan aspal BNA blend 75/25 di dapat sedikit lebih tinggi yaitu 55,8 °C. Jika dilihat gambar 4.21, grafik menunjukkan pada saat suhu mencapai titik lembek aspal, nilai BPN dari dua jenis benda uji tersebut sama-sama cenderung turun dan konsisten dilihat dari kemiringan garis *trendline*, meskipun sebelumnya sudah mengalami penurunan nilai BPN untuk setiap kenaikan suhu. Hal ini dapat diartikan jika suhu sudah mencapai titik lembek aspal maka cenderung perilaku aspal menunjukkan tidak bisa mempertahankan lagi dari ketahanan terhadap suhu lembek sehingga nilai BPN akan perlahan turun secara konsisten karena tidak bersifat kesat lagi dan semakin kecilnya perlawanan terhadap gesekan permukaan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

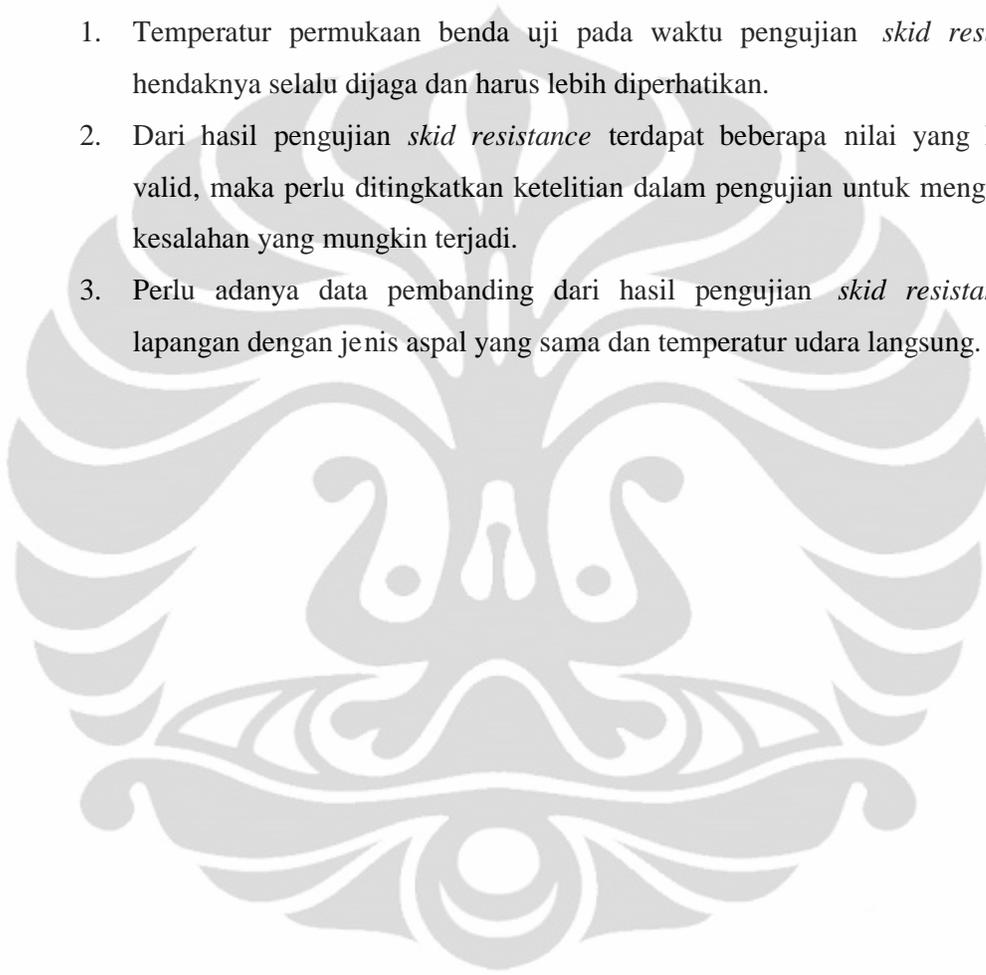
5.1. KESIMPULAN

1. Dari hasil pengujian Marshall untuk jenis benda uji laston Pen 60/70 dan Laston modifikasi BNA dengan menggunakan Kadar Aspal Optimum yang sama (5.9%), terlihat aspal modifikasi BNA mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan aspal pen 60/70 tanpa BNA.
2. Hasil pengujian Marshall rendaman diketahui bahwa campuran dengan menggunakan campuran aspal modifikasi BNA mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap pengaruh air dan temperatur dibandingkan dengan campuran yang menggunakan campuran aspal Pen 60/70.
3. Seiring kenaikan suhu pada benda uji penetrasi rendah (Aspal BNA) maka nilai *skid resistance* (BPN) akan lebih besar dibanding dengan benda uji dengan penetrasi lebih tinggi (Aspal 60/70). Hal ini dapat diartikan penetrasi aspal sangatlah mempengaruhi nilai kekesatan permukaan sejalan dengan peningkatan suhu. Tetapi untuk dua buah jenis benda uji tersebut sama-sama mempunyai nilai *skid resistance* yang semakin turun seiring kenaikan temperaturnya.
4. Pada saat suhu mencapai titik lembek aspal, nilai BPN (*British Pendulum Number*) dari dua jenis benda uji tersebut sama-sama cenderung turun dan sama-sama konsisten dilihat dari kemiringan garis *trendline* hasil pengujian, dan juga pada saat pengujiannya mengalami kesulitan, dikarenakan ikatan aspal mulai pudar yang mengakibatkan benda uji bergerak pada saat dilakukan pengujian gesekan meskipun benda uji sudah di jepit pada tempatnya.
5. Dari hasil uji *skid resistance* untuk laston Pen 60/70 tanpa BNA, didapatkan nilai BPN rata-rata diatas 50, sesuai tabel nilai resistensi gesek minimum yang disarankan nilai *skid resistance* tergolong pada kategori A yaitu tipe lokasi di bundaran, belokan, miring curam sedangkan pada laston Pen 60/70 modifikasi BNA didapat pembacaan angka BPN diatas 60, berarti dapat

digolongkan untuk kategori B dengan tipe lokasi jalan utama/cepat, jalan lalulintas berat.

5.2. SARAN

1. Temperatur permukaan benda uji pada waktu pengujian *skid resistance* hendaknya selalu dijaga dan harus lebih diperhatikan.
2. Dari hasil pengujian *skid resistance* terdapat beberapa nilai yang kurang valid, maka perlu ditingkatkan ketelitian dalam pengujian untuk mengurangi kesalahan yang mungkin terjadi.
3. Perlu adanya data pembandingan dari hasil pengujian *skid resistance* di lapangan dengan jenis aspal yang sama dan temperatur udara langsung.



DAFTAR REFERENSI

Departemen Pekerjaan Umum 2008. Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Bandung : Yayasan Badan Penerbit PU.

Departemen Pekerjaan Umum, 1987. Standar Konstruksi Bangunan Indonesia (SKBI) no. 2.4.26.1987, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*

AASHTO. 1990. *Standard Specifications For Transportation Materials And Methods of Sampling and Testing. Part I. "Specifications"*. Fifteenth Edition. Washington,D.C.

ASTM E 303-93 Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.

Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah

SNI 4427:2008, Cara Uji Kekesatan Permukaan Perkerasan Menggunakan Alat British Pendulum Tester

Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*.

Suwardo, 2003, *Investigasi kekesatan Perkerasan Jalan Menggunakan Wessex Skid Tester*, Jurnal, Teknik Sipil Universitas Gadjah Madha, Jogjakarta

Ibrahim M. Asi (2007),Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes, *Journal of Building and Environment* 42, 325–329

José M. Pardillo Mayora (2009), An assessment of the skid resistance effect on traffic safety under wet-pavement conditions, *Journal of Accident Analysis and Prevention* 41, 881–886

H J Kwang, G Morosiuk and J Emby (1992), An assessment of the skid resistance and macrotexture of bituminous road surfacings in Malaysia, Overseas Centre, Transport Research Laboratory. Crowthorne Berkshire United Kingdom

Laboratory – Pavement Materials, Skid Resistance Test, School of Civil and Structural Engineering, Nanyang Technological University

Pendulum Skid Resistance Test Manual, (*Pendulum Skid*)

Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil. 1997. *Panduan Praktikum Pemeriksaan dan Pengujian Bahan Perkerasan Jalan Raya*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Achmad, Djejen, 2005. Jobsheet Uji Bahan I, *Praktek Uji Bahan I*, Depok.

Sukirman, S, 2007, *Beton Aspal Campuran Panas*, Yayasan Obor, Jakarta.

Sudjana, 1992, *Metode Statistika*, Penerbit TARSITO, Bandung.

<http://www.aspalbuton.co.id>



LAMPIRAN I

HASIL PENGUJIAN AGREGAT

- Pengujian Berat Jenis Agregat
- Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal
- Pengujian Impact
- Pengujian Abrasi dengan Mesin Los Angeles
- Pengujian Nilai Setara Pasir
- Pengujian Kadar Lumpur

**LABORATORIUM BAHAN**

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

UJI BERAT JENIS AGREGAT

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

split >2.36

Benda Uji	I	II	Rata-rata
Berat benda uji kering oven (Bk)	1963,20	1963,50	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	2001,00	2002,70	
Berat benda uji di dalam air (Ba)	1241,80	1242,90	
Berat Jenis Bulk	$\frac{Bk}{Bj-Ba}$	2,59 2,58	2,59
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	2,64 2,64	2,64
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	2,72 2,72	2,72
Penyerapan (Absorption)	$\frac{Bj-Bk}{Bk}$	1,93 2,00	1,96

screen > 2.36

Benda Uji	I	II	Rata-rata
Berat benda uji kering oven (Bk)	1957,70	1181,70	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	2011,00	1219,90	
Berat benda uji di dalam air (Ba)	1239,80	749,10	
Berat Jenis Bulk	$\frac{Bk}{Bj-Ba}$	2,54 2,51	2,52
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	2,61 2,59	2,60
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	2,73 2,73	2,73
Penyerapan (Absorption)	$\frac{Bj-Bk}{Bk}$	2,72 3,23	2,98

screen < 2.36

Benda Uji		Rata-rata
Berat SSD (A)		101,6
Berat Piknometer + air + tutup (B)		1102,9
Berat Benda Uji + Piknometer + air + tutup (C)		1165,9
Berat Kering Oven (D)		99,1
Berat Jenis Bulk	$\frac{D}{A+B-C}$	2,57
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	$\frac{A}{A+B-C}$	2,63
Berat Jenis Apparent	$\frac{D}{D+B-C}$	2,75
Penyerapan	$\frac{A-D \times 100\%}{D}$	2,52

Abu Batu > 4.75

Benda Uji		Rata-rata
Berat benda uji kering oven (Bk)		92,70
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)		94,80
Berat benda uji di dalam air (Ba)		58,20
Berat Jenis Bulk	$\frac{Bk}{Bj-Ba}$	2,53
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	2,59
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	2,69
Penyerapan (Absorption)	$\frac{Bj-Bk}{Bk}$	2,27

Abu Batu < 4.75

Benda Uji		I	II	Rata-rata
Berat SSD (A)		358,6	346,2	
Berat Piknometer + air + tutup (B)		1102,9	1102,9	
Berat Benda Uji + Piknometer + air + tutup (C)		1323,1	1315,4	
Berat Kering Oven (D)		347,2	335,4	
Berat Jenis Bulk	D	2,51	2,51	2,51
	A+B-C			
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	A	2,59	2,59	2,59
	A+B-C			
Berat Jenis Apparent	D	2,73	2,73	2,73
	D+B-C			
Penyerapan	A-D x			3,25
	100%	3,28	3,22	
	D			



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) - 727 0028 (Fax)

UJI KELARUTAN DALAM TCE

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Nomor Contoh		I	II
Berat kertas filter (Gram)	A	1,21	1,22
Berat kertas filter + aspal (setelah di oven) (Gram)	B	1,24	1,24
Berat aspal pada kertas filter (Gram)	C	0,03	0,02
% kelarutan		99,98	99,98
		99,98	

**LABORATORIUM BAHAN**

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) - 727 0028 (Fax)

UJI KADAR LUMPUR

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Kasar spek max.1%

Nomor Contoh		I	I
Berat benda uji sebelum dicuci, kering oven (gram)	W_1	2189,7	1937,9
Berat benda uji setelah dicuci tertahan no.200, kering oven (gram)	W_2	2135,6	1887,1
Kadar Bahan lolos no.200 (%)	$\left \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \right \%$	2,47	2,62
Rata-rata		2,55	

Medium spek max.1%

Nomor Contoh		I	I
Berat benda uji sebelum dicuci, kering oven (gram)	W ₁	1336,7	1241,3
Berat benda uji setelah dicuci tertahan no.200, kering oven (gram)	W ₂	1304,1	1210,1
Kadar Bahan lolos no.200 (%)	$\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \%$	2,44	2,51
Rata-rata		2,48	

Halus spek max.8%

Nomor Contoh		I	I
Berat benda uji sebelum dicuci, kering oven (gram)	W ₁	1782,2	1886,7
Berat benda uji setelah dicuci tertahan no.200, kering oven (gram)	W ₂	1529,4	1627,6
Kadar Bahan lolos no.200 (%)	$\frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \%$	14,18	13,73
Rata-rata		13,96	



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) - 727 0028 (Fax)

UJI NILAI SETARA PASIR

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Abu Batu < 4.75

Nomor Contoh		I	II	Ket
1.	Tera tinggi tangkai penunjuk beban ke dalam gelas ukur (gelas dalam keadaan kering)	10,2	10,2	
2.	Baca skala lumpur (pembacaan skala permukaan lumpur lihat pada dinding gelas ukur)	4,82	4,83	
3.	Masukkan beban, baca skala beban pada tangkai penunjuk	12,66	12,98	
4.	Baca skala pasir	$3 - 1$	2,46	2,78
5.	Nilai setara pasir	$\frac{4}{2} \times 100\%$	51,04	57,56
6.	Rata-rata nilai setara pasir	$\frac{I + II}{2}$	54,30	

**LABORATORIUM BAHAN**

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

UJI ABRASI

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

SPLIT

Gradasi		Benda Uji	
Lolos # (mm)	Tertahan # (mm)	I	II
19,00	12,50	2500	2500,1
12,50	9,50	2500,5	2500,1
Jumlah berat awal		(a)	5000,5
Berat tertahan saringan no.12 (1.7 mm) setelah uji abrasi		(b)	4307,7
Nilai Abrasi	$\frac{(a-b) \times 100\%}{a}$	13,85	14,07
Rata-rata		13,96	

spek maks. 40%

Screen

Gradasi		Benda Uji	
Lolos # (mm)	Tertahan # (mm)	I	II
9,50	6,30	2500,2	2500
6,30	4,75	2500	2500
Jumlah berat awal		(a)	5000,2
Berat tertahan saringan no.12 setelah uji abrasi		(b)	3990,9
Nilai Abrasi	$\frac{(a-b) \times 100\%}{a}$	20,19	20,31
Rata-rata		20,2	

spek maks. 40%

**LABORATORIUM BAHAN**

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

UJI IMPACT

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

screen spek max.30%

Nomor Contoh		I	II
Berat takaran + agregat lolos # 12,5 mm dan tertahan # 9,5 mm (gram)	W1	1054,10	1044,20
Berat takaran (gram)	W2	693,10	693,10
Berat benda uji (gram)	A = W1- W2	361,00	351,10
Berat benda uji tertahan ayakan #2,36 mm, setelah ditumbuk dan kering oven (gram)	B	305,40	294,90
Agregat Impact Value	$\frac{A - B}{A} \times 100 \%$	15,40	16,01
Rata- rata		15,70	

SPLIT spek max.30%

Nomor Contoh		I	II
Berat takaran + agregat lolos # 12,5 mm dan tertahan # 9,5 mm (gram)	W1	1045,60	1039,50
Berat takaran (gram)	W2	693,10	693,10
Berat benda uji (gram)	A = W1- W2	352,50	346,40
Berat benda uji tertahan ayakan #2,36 mm, setelah ditumbuk dan kering oven (gram)	B	287,00	282,20
Agregat Impact Value	$\frac{A - B}{A} \times 100 \%$	18,58	18,53
Rata- rata		18,56	



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

UJI KELEKATAN AGREGAT

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

		Split	Screen	Suhu Ruangan (° C)	25 °C
Contoh dipanaskan	Mulai jam	14,10	14,25		
(16 feb 2011)	Selesai jam	14,25	14,40		
Didiamkan pada suhu ruangan	Mulai jam	14,25	14,40		
(16 feb 2011)	Selesai jam				
Direndam pada suhu	Mulai jam	15,15	15,15		
(16 feb 2011)	Selesai jam	7,15	7,15		
Pemeriksaan kelekatan aspal pada batuan (17 feb 2011)	Mulai jam	7,15	7,15		
	Selesai jam	7,20	7,20		

Dari hasil pengamatan visual, kelekatan aspal pada agregat 100 %



LAMPIRAN II

HASIL PENGUJIAN ASPAL

- Pengujian Kelarutan Dalam TCE
- Pengujian Titik Nyala & Titik Bakar Aspal
- Pengujian Titik Lembek Aspal
- Pengujian Daktilitas Aspal
- Pengujian Berat Jenis Aspal
- Pengujian Penetrasi Aspal



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

UJI PENETRASI ASPAL

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Suhu (°C)	25	
Penetrasi pada pengamatan ke-1	0.1 mm	67,0
Penetrasi pada pengamatan ke-2	0.1 mm	68,0
Penetrasi pada pengamatan ke-3	0.1 mm	67,5
Penetrasi pada pengamatan ke-4	0.1 mm	68,0
Penetrasi pada pengamatan ke-5	0.1 mm	69,0
Penetrasi pada pengamatan ke-6	0.1 mm	67,0
Rata-rata penetrasi		67,75

toleransi angka range penetrasi

Hasil Penetrasi	0-49	50-149	150-249	250
Toleransi	2	4	6	8

**LABORATORIUM BAHAN**

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) - 727 0028 (Fax)

UJI BERAT JENIS ASPAL

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Nomor Contoh		I	II
Berat Pikhnometer + Tutup(gram)	A	32,40	32,18
Berat Pikhnometer + Tutup + Air(gram)	B	81,74	82,18
Berat Pikhnometer + Tutup + Aspal(gram)	C	59,50	58,57
Berat Pikhnometer + Tutup + Aspal + Air Suling(gram)	D	82,66	83,00
Berat Jenis	$\frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$	1,035	1,032
		1,0336	

Persyaratan Nilai Berat Jenis Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan				
			Pen. 40	Pen. 60	Pen.80	Pen.120	Pen. 200
1	Berat Jenis	SNI 06-2488-1991	Min. 1,0	Min. 1,0	Min. 1,0	-	-



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) - 727 0028 (Fax)

UJI DAKTILITAS ASPAL

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

Nomor contoh	I		II	
Panjang sampai putus pada pengamatan ke 1	>110	cm	>110	cm
Panjang sampai putus pada pengamatan ke 2	>110	cm	>110	cm
Rata-rata panjang sampai putus	>110	cm	>110	cm

Nilai Daktilitas Berdasarkan Jenis Penetrasi Aspal

Jenis pengujian	Satuan	Metode	Persyaratan				
			Pen 40	Pen 60	Pen 80	Pen 120	Pen 200
Daktilitas, 25 °C	cm	SNI 06-2432-1991	Min. 100	Min. 100	Min. 100	Min. 100	-



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

UJI TITIK LEMBEK ASPAL

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

NO	SUHU YG DIAMATI °C	NOMOR CONTOH				
		WAKTU (DETIK)			SUHU TITIK LEMBEK °C	
		I	II		I	II
1	0	0	0			
2	5	0	0			
3	10	53	59			
4	15	126	124			
5	20	180	179			
6	25	234	236			
7	30	301	298			
8	35	390	366			
9	40	430	419			
10	45	481	479			
11	50	532	525		51	52
12	55					
13	60					
RATA-RATA TITIK LEMBEK (°C)					51,5	

Jenis Penguujian	Satuan	Metode	Persyaratan				
			Pen 40	Pen 60	Pen 80	Pen 120	Pen 200
Titik Lembek	°C	SNI 06-2434- 1991	51-63	50-58	46-51	120- 150	200- 300



LABORATORIUM BAHAN

Jurusan Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

kampus Baru UI Depok, Telp. 787 48 78 - 727 0029 (Ext. 18) -727 0028 (Fax)

UJI TITIK NYALA ASPAL

Nama : Dikerjakan :
Judul : Diperiksa :
Jenis contoh : Tanggal :

No.	Dibawah titik nyala °C	Nomor Contoh			
		Waktu (detik)		Pembacaan suhu(°C)	
		I	II	I	II
1	56	0		219	
2	51	23		224	
3	46	52		229	
4	41	82		234	
5	36	133		239	
6	31	123		241	
7	26				
8	21				
9	16				
10	6				
11	1				
Suhu titik nyala (°C)				241	
Rata-rata titik nyala (°C)				241	



LAMPIRAN III

HASIL PENGUJIAN MARSHALL

- Data Pengujian Marshall Standart
- Data Pengujian Marshall Kepadatan Mutlak
- Data Pengujian Marshall Immertion

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
1		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
		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
1		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
		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
1		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
		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
1		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
		6,0	1134,00	1139,00	647,00	492,0	2,305	2,403	17,461	4,08	76,63	64,80	1496,9	1566,8	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
1		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
		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
1		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
		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 - c).
 g = Berat isi (c / f)

* GMM ditentukan dengan cara AASHTO T - 205 i = % Rongga diantara agregat (VMA) =

$$Pb = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18(\%FF) + K$$
 pada kadar aspal optimum perkiraan =

$$100 - \frac{BJ. bulk agregat}{BJ. bulk agregat} \times Bj. aspal$$
 K = 0.5 - i untuk laston , 2.0 - 3.0 untuk lastaton

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

h = BJ. Maksimum campuran (teoritis) =

$$\frac{100}{\frac{\% agregat}{bj. eff. agregat} + \frac{\% aspal}{bj. aspal}}$$

j = Persen rongga terhadap campuran (ViM) = $100 - (100g/h)$; q = Kadar aspal eff. (%)
 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 = kelelahan (mm)
 p = Hasil bagi marshall (MQ) (kg/mm)

*** Absorpsi aspal terhadap total agregat =

$$100 \times \frac{Bj. eff - Bj. bulk}{Bj. eff \times Bj. bulk} \times Bj. aspal$$

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 i = % Rongga diantara agregat (VMA)=
 pada kadar aspal optimum perkiraan=
 $P_b = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18(\%FF) + K$ $100 - \frac{(100 - b) g}{BJ. bulk agregat}$
 K = 0.5 - 1 untuk laston , 2.0 - 3.0 untuk lastaston

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

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

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 = kelelahan (mm)
 p = Hasil bagi marshall (MQ) (kg/mm)

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

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

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
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
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

PEN 60/70

MODIF. BNA

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
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
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

PEN 60/70

MODIF BNA

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 - 20% i = % Rongga diantara agregat (VMA)= pada kadar aspal optimum perkiraan=

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

$$K = 0.5 - 1 \text{ untuk laston } , 2.0 - 3.0 \text{ untuk lastaston}$$

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

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

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

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



LAMPIRAN IV

Rumus-Rumus

- Rumus-Rumus Yang Dipakai Dalam Analisa Marshall

Rumus-Rumus Yang Digunakan Dalam Analisis Marshall

1. Kadar aspal total = $\frac{W_a}{W_{ct}} \times 100\%$

Dengan :

W_a = berat aspal

W_{ct} = berat total campuran

2. Kepadatan (ton/m^3) = $\frac{W_{bu}}{V_{bu}} \times 100\%$

Dengan :

W_{bu} = berat benda uji

V_{bu} = volume benda uji

3. Hitung perkiraan awal kadar aspal rencana :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{konstanta}$$

Dengan :

P_b = Perkiraan kadar aspal rencana awal.

CA = Agregat Kasar, butiran agregat > 2,36 mm.

FA = Agregat Halus, butiran agregat < 2,36 mm dan > 200 mesh.

FF = Bahan Pengisi, butiran agregat < 200 mesh.

Konstanta = Kira-kira 0,5 – 1 untuk Laston, dan 1-2 untuk Lataston.

4. Evaluasi Berat Jenis :

a. Berat jenis maksimum campuran beraspal (G_{mm}), diuji dengan metode AASHTO T209-1990

b. Berat Jenis Bulking kering dari total agregat (G_{sb})

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{1b}} + \frac{P_2}{G_{2b}} + \dots + \frac{P_n}{G_{nb}}}$$

G_{sb} = Berat Jenis Bulk kering dari total agregat

P_1, P_2, \dots, P_n = Persentase berat masing-masing agregat

$G_{1b}, G_{2b}, \dots, G_{nb}$ = Berat Jenis bulk dari masing-masing agregat

c. Berat Jenis Apparent dari total agregat

$$G_{sap} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{1ap}} + \frac{P_2}{G_{2ap}} + \dots + \frac{P_n}{G_{nap}}}$$

G_{sap} = Berat Jenis Apparent dari total Agregat

P_1, P_2, \dots, P_n = Persentase berat masing-masing agregat

$G_{1ap}, G_{2ap}, \dots, G_{nap}$ = Berat Jenis bulk dari masing-masing agregat

d. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat

- Bila berat jenis maksimum campuran beraspal (G_{mm}), diketahui dari pengujian dengan metoda AASHTO T209-1990, maka :

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran (metoda AASHTO T209-1990)

P_{mm} = Persen berat total campuran (=100%)

P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum campuran yang diuji dengan metoda AASHTO T209-1990

G_b = Berat jenis aspal

- Bila data G_{mm} tidak ada (tidak diuji), maka :

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sap}}{2}$$

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_{sb} = Berat jenis bulk kering dari total agregat

G_{sap} = Berat jenis apparent dari total agregat

5. Penyerapan Aspal :

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} G_b$$

P_{ba} = Penyerapan aspal

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat

G_b = Berat jenis aspal

6. Kadar Aspal Efektif

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s$$

P_{be} = Kadar aspal efektif, persen terhadap berat total campuran

P_b = Kadar aspal total, persen terhadap berat total campuran

P_s = Persen agregat terhadap total campuran

P_{ba} = Penyerapan aspal, persen terhadap berat agregat

7. Rongga diantara Mineral Agregat

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}}$$

VMA = Rongga diantara agregat, persen terhadap volume total campuran

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat (AASHTO T-166)

P_s = Persen agregat terhadap berat total campuran

8. Rongga di dalam Campuran

$$VIM = 100 \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

VIM = Rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat (AASHTO T-166)

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran

9. Rongga Terisi Aspal

$$VFB = 100 \frac{VMA - VIM}{VMA}$$

VFB = Rongga terisi aspal, persen terhadap VMA

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran

VIM = Rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

10. Stabilitas (kg)

Pembacaan dial tekan (divisi) dikalikan dengan angka kalibrasi cincin penguji serta angka koreksi beban pada tabel rasio korelasi stabilitas.

11. Kelelehan atau Flow (mm)

Dibaca pada dial pengukur kelelehan (divisi)

12. Berat Jenis *Bulk* dari agregat campuran

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}}$$

13. Berat Jenis *efektif* dari agregat campuran

$$G_{se} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{se1}} + \frac{P_2}{G_{se2}} + \frac{P_3}{G_{se3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sen}}}$$