

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
CAMPURAN BERASPAL
POLYMER ELASTOMER DAN PLASTOMER**

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Menempuh Ujian Sarjana
di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil
Universitas Kristen Maranatha
Bandung**

Disusun oleh :

**RUDY ANTONY NAINGGOLAN
NRP : 9421071
NIRM : 41077011940322**

Pembimbing :

WIMPY SANTOSA, Ph.D.

Ko Pembimbing :

IR. TJITJIK WASIAH SUROSO



**UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
B A N D U N G
2005**

SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR

Sesuai dengan persetujuan Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha, melalui surat No. 810/TA/FTS/UKM/III/2004 tanggal 09 Februari 2004, dengan ini saya selaku Pembimbing Tugas Akhir memberikan tugas kepada :

Nama : Rudy Antony Nainggolan

Nrp : 9421071

untuk membuat Tugas Akhir dengan judul :

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK CAMPURAN BERASPAL POLYMER ELASTOMER DAN PLASTOMER

Pokok-pokok pembahasan Tugas Akhir tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pendahuluan
2. Tinjauan Pustaka
3. Prosedur Kerja Dan Uji Laboratorium
4. Data dan Analisis
5. Kesimpulan dan Saran

Hal-hal yang dianggap perlu dapat disertakan untuk melengkapi penulisan Tugas Akhir ini .

Bandung, 13 Maret 2004

Wimpy Santosa, Ph.D.
Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Tjitjik Wasiah Suroso
Ko Pembimbing Tugas Akhir

SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR

Yang bertandatangan dibawah ini, selaku Pembimbing Tugas Akhir dari :

Nama : Rudy Antony Nainggolan

Nrp : 9421071

menyatakan bahwa Tugas Akhir dari Mahasiswa di atas dengan judul :

**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK CAMPURAN BERASPAL
POLYMER ELASTOMER DAN PLASTOMER**

dinyatakan selesai dan dapat diajukan pada Ujian Sidang Tugas Akhir (USTA).

Bandung, 16 Februari 2005

Wimpy Santosa, Ph.D.
Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Tjitjik Wasiah Suroso
Ko Pembimbing Tugas Akhir

*Dalam tiap jerih payah ada keuntungan,
tetapi kata-kata belaka mendatangkan
kekurangan saja.*

(Amsal 14 : 23)

*Kupersembahkan untuk Papa, Mama,
Adik dan semua orang yang kusayangi.*

**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK
CAMPURAN BERASPAL
POLYMER ELASTOMER DAN PLASTOMER**

RUDY ANTONY NAINGGOLAN

NRP : 9421071

NIRM : 41077011940322

**Pembimbing : Wimpy Santosa, Ph.D.
Ko Pembimbing : Ir. Tjitjik Wasiah Suroso**

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG**

ABSTRAK

Aspal merupakan bahan pengikat yang sudah sering digunakan dalam campuran beraspal untuk perkerasan jalan. Campuran beraspal seringkali mengalami berbagai kerusakan seperti menjadi getas, retak-retak, serta naiknya aspal ke permukaan jalan. Dengan adanya masalah-masalah tersebut, diperlukan suatu cara untuk meningkatkan kemampuan aspal dalam campuran yaitu dengan menggunakan bahan tambah. Beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal adalah polymer elastomer, polymer plastomer dan lain-lain.

Penelitian ini meliputi pembuatan benda uji campuran beraspal tanpa bahan tambah polymer elastomer / polymer plastomer, campuran beraspal dengan bahan tambah polymer elastomer dan campuran beraspal dengan bahan tambah polymer plastomer. Untuk mengetahui karakteristik ketiga campuran beraspal tersebut dilakukan pengujian Marshall dan Perendaman Marshall.

Hasil pengujian pada Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa penambahan polymer elastomer sebesar 3% terhadap campuran beraspal dapat meningkatkan nilai stabilitas, VFB, VIM, VMA, *Marshall Quotient* dan Indeks Perendaman secara signifikan. Penambahan polymer plastomer sebesar 3% terhadap campuran beraspal secara signifikan dapat meningkatkan nilai stabilitas, VFB, VIM, *Marshall Quotient* dan Indeks Perendaman.

PRAKATA

Sesuai dengan syarat kurikulum yang berlaku pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, penyusunan Tugas Akhir yang berjudul **“PERBANDINGAN KARAKTERISTIK CAMPURAN BERASPAL POLYMER ELASTOMER DAN PLASTOMER ”** disusun sebagai syarat untuk menempuh ujian sidang Tugas Akhir guna memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil pada Universitas Kristen Maranatha.

Dalam Tugas Akhir ini, akan dibahas mengenai perbandingan karakteristik campuran beraspal dengan polymer elastomer dan polymer plastomer, perbandingan karakteristik campuran beraspal dengan polymer elastomer dan tanpa polymer elastomer serta perbandingan karakteristik campuran beraspal polymer plastomer dan tanpa polymer plastomer.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan dan kritik dan masukan agar dapat diperbaiki di masa mendatang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Wimpy Santosa, Ph.D. dan Ibu Ir Tjitjik Wasiah Suroso yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyusun Tugas Akhir ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Hanny J. Dani, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha.
2. Ibu Ir. Rini I. Rusandi, selaku Koordinator Tugas Akhir, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha.

3. Ibu Tan Lie Ing, ST., MT., Bapak Prof. Ir. Bambang Ismanto., M.Sc., Ph.D. dan Bapak Ir. Santoso Urip Gunawan, MT., selaku dosen penguji Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Ginardy Husada, MT., selaku dosen wali yang banyak membantu memberikan motivasi dan dorongan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
5. Kepada Papa, Mama serta adik-adik penulis Henny, Henry Arny dan Irwan yang telah memberi dorongan dan motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Kepada Riza Lubis, Deni Himawan serta rekan-rekan Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil lainnya, khususnya seluruh angkatan '94.
7. Kepada Bapak Upay, Bapak Sugeng yang telah membantu penulis dalam melaksanakan praktikum.
8. Semua pihak yang pada kesempatan ini tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, baik bagi penulis sendiri, rekan-rekan yang membutuhkan, dan bagi dunia pengetahuan.

Bandung, 16 Februari 2005

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR ISTILAH, NOTASI DAN SINGKATAN	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Metodologi Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Aspal	4
2.2 Agregat	7
2.3 Aspal Polymer Elastomer	10
2.4 Aspal Polymer Elastomer	10
2.5 Campuran Beraspal	11
2.6 Metode Marshall	14
2.7 Analisa Variansi (Analysis of Variance, ANOVA)	16
2.8 Uji Statistik Student Newman Keuls	19

BAB 3 PROSEDUR KERJA DAN UJI LABORATORIUM

3.1 Rencana Kerja	21
3.2 Pengujian Aspal	23
3.3 Pengujian Agregat	23
3.4 Penentuan Gradasi Agregat Campuran	24
3.5 Pengujian Marshall	25
3.6 Pengujian Perendaman Marshall	27
3.7 Analisi Statistik Parameter Marshall	27

BAB 4 DATA DAN ANALISIS

4.1 Hasil Pengujian Aspal	29
4.2 Hasil Pengujian Agregat	30
4.3 Hasil Pengujian Marshall	31
4.4 Hasil Pengujian Perendaman Marshall	35
4.5 Analisis Data	37

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

%	= persen
°	= derajat
²	= kuadrat
³	= kubik
ρ_w	= berat jenis air
>	= lebih dari
<	= kurang dari
±	= lebih kurang
\bar{x}	= Nilai rata-rata (<i>Mean</i>)
α	= Tingkat Keterandalan (<i>Level of Significance</i>)
AASHTO	= <i>American Association Of State Highway and Transportation Officials</i>
ANOVA	= <i>analysis of variance</i>
cm	= centimeter
cm ²	= centimeter persegi
cm ³	= centimeter kubik
C	= celcius
cSt	= centi stokes
df	= <i>Degree of Freedom</i>
EVA	= <i>Ethylene Vinyl Acetate</i>
F	= fahrenheit
ft	= <i>feet</i>
G _{ap}	= <i>apparent specific gravity</i>

G_b	=	<i>specific gravity of binder</i>
G_{mb}	=	<i>bulk mix gravity</i>
gr	=	gram
G_s	=	Berat jenis butir (<i>Specific Gravity</i>)
G_{sb}	=	<i>bulk specific gravity</i>
G_{se}	=	<i>effective specific gravity</i>
H_0	=	Hipotesis Awal
H_1	=	Hipotesis Alternatif
in	=	inci
kg	=	kilogram
LSR	=	<i>Least Significant Range</i>
lbs	=	pound (454 gram)
m	=	meter
m^2	=	meter persegi
m^3	=	meter kubik
Maks	=	Maksimum
Min	=	Minimum
ml	=	mililiter
mm	=	milimeter
MS	=	<i>Mean Square</i>
MSE	=	<i>Mean Square Error</i>
MQ	=	<i>Marshall Quotient</i>
N	=	<i>Newton</i>
n_j	=	Jumlah Ulangan

No	=	Nomor
Pb	=	persentase berat aspal terhadap campuran
Pba	=	persentase penyerapan aspal
Pen	=	Penetrasi
Pbe	=	persentase kadar aspal efektif
PE	=	polyethylene
Ps	=	persentase berat agregat terhadap berat campuran
PP	=	polypropilene
SBS	=	<i>Styrene Butadine Styrene</i>
SBR	=	<i>Styrene Butadine Rubber</i>
SIS	=	<i>Styrene Isoprene Styrene</i>
SS	=	<i>Sum of Square</i>
SS_{error}	=	<i>Sum of square error</i>
SS_{total}	=	<i>Sum of square total</i>
$SS_{treatment}$	=	<i>Sum of square treatment</i>
SSD	=	<i>Saturated Surface Dry</i>
VFB	=	<i>Voids Filled in Bitumen</i>
VIM	=	<i>Voids in Mix</i>
VMA	=	<i>Voids in Mineral Agregates</i>
w _p	=	wilayah nyata <i>student</i>
W _p	=	wilayah nyata pendek

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Pengujian	22
Gambar 3.2 Kurva Gradasi Tipe IV Bina Marga	25
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Kadar Aspal tanpa Penambahan Polymer Elastomer / Polymer Plastomer dan Parameter Marshall	33

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Aspal Pen 60 Menurut Bina Marga	7
Tabel 2.2 Spesifikasi Aspal Polymer	7
Tabel 2.3 Batas-batas Gradasi Agregat Campuran	9
Tabel 2.4 Persyaratan Campuran Beraspal	12
Tabel 2.5 k Sampel Acak	17
Tabel 2.6 Analisis Variansi untuk Klasifikasi Ekaarah	18
Tabel 3.1 Jenis dan Prosedur Pengujian Aspal	23
Tabel 3.2 Spesifikasi dan Prosedur Pengujian Agregat Kasar	24
Tabel 3.3 Spesifikasi dan Prosedur Pengujian Agregat Halus	24
Tabel 3.4 Komposisi Agregat Menurut Bina Marga	25
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Aspal dengan Penambahan Polymer Elastomer,..	30
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Aspal dengan Penambahan Polymer Plastomer,..	30
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Kasar	31
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Agregat Halus	31
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Marshall tanpa Penambahan Polymer Elastomer / Plastomer untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	32
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Elastomer	34
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Plastomer	34
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Perendaman Marshall pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Elastomer	35
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Perendaman Marshall pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Plastomer	36
Tabel 4.10 Indeks Perendaman pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Elastomer	36
Tabel 4.11 Indeks Perendaman pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Plastomer	36
Tabel 4.12 Uji Hipotesis Terhadap Parameter Marshall	37

Tabel 4.13 Hasil Analisis Varian data Parameter Marshall dengan Penambahan Polymer Elastomer	38
Tabel 4.14 Hasil Analisis Varian data Parameter Marshall dengan Penambahan Polymer Plastomer	39
Tabel 4.15 Hasil Uji <i>Student Newman Keuls</i> Parameter Marshall dengan Penambahan Polymer Elastomer	40
Tabel 4.16 Hasil Uji <i>Student Newman Keuls</i> Parameter Marshall dengan Penambahan Polymer Plastomer	41

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 48
Lampiran 2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus 49
Lampiran 3	Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar dan Halus 50
Lampiran 4	Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles 51
Lampiran 5	Komposisi Campuran Berasapal tanpa Penambahan Polymer Elstomer / Polymer Plastomer 52
Lampiran 6	Hasil Pengujian Marshall tanpa Penambahan Polymer Elastomer / Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 53
Lampiran 7	Komposisi Campuran Berasapal dengan Penambahan 1% Polymer Elstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum ... 54
Lampiran 8	Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 1% Polymer Elstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 55
Lampiran 9	Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 1% Polymer Elastomer dengan Parameter Marshall 56
Lampiran 10	Komposisi Campuran Berasapal dengan Penambahan 3% Polymer Elstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum ... 57
Lampiran 11	Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 3% Polymer Elstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 58
Lampiran 12	Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 3% Polymer Elastomer dengan Parameter Marshall 59
Lampiran 13	Komposisi Campuran Berasapal dengan Penambahan 5% Polymer Elstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum,.... 60
Lampiran 14	Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 5% Polymer Elstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 61
Lampiran 15	Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 5% Polymer Elastomer dengan Parameter Marshall 62
Lampiran 16	Komposisi Campuran Berasapal dengan Penambahan 1% Polymer Plstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum ... 63

Lampiran 17	Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 1% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	64
Lampiran 18	Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 1% PolymerPlastomer dengan Parameter Marshall	65
Lampiran 19	Komposisi Campuran Berasapal dengan Penambahan 3% Polymer Plstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum....	66
Lampiran 20	Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 3% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	67
Lampiran 21	Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 3% Polymer Plastomer dengan Parameter Marshall	68
Lampiran 22	Komposisi Campuran Berasapal dengan Penambahan 5% Polymer Plstomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum ...	69
Lampiran 23	Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 5% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	70
Lampiran 24	Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 5% Polymer Plastomer dengan Parameter Marshall	71
Lampiran 25	Contoh Perhitungan Analisa Agregat	72
Lampiran 26	Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan Polymer Elastomer pada Kadar Optimum	75
Lampiran 27	Hasil Pengujian Perendaman Marshall dengan Penambahan Polymer Elastomer pada Kadar Optimum	76
Lampiran 28	Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan Polymer Plastomer pada Kadar Optimum	77
Lampiran 29	Hasil Pengujian Perendaman Marshall dengan Penambahan Polymer Plastomer pada Kadar Optimum	78
Lampiran 30	Contoh Perhitungan Marshall	79
Lampiran 31	Contoh Perhitungan Analisis Statistik ANOVA	82
Lampiran 32	Contoh Perhitungan Analisis Statistik <i>Student Newman Keuls</i> ...	86
Lampiran 33	Koreksi Stabilitas Marshall	88
Lampiran 34	Tabel <i>Upper 5% Point of Studentized Range</i>	89
Lampiran 35	Tabel Distribusi F	90

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Aspal merupakan bahan pengikat yang sudah sering digunakan dalam campuran beraspal untuk perkerasan jalan. Mengingat aspal merupakan material yang *visco-elastic*, sehingga keberadaannya sangat dipengaruhi oleh temperatur dan beban lalu lintas yang ada. Dengan demikian tak pelak lagi bahwa selama masa layanannya aspal dalam campuran beraspal seringkali mengalami berbagai kerusakan seperti menjadi getas, retak-retak, serta naiknya aspal ke permukaan jalan. Dengan adanya masalah-masalah tersebut, diperlukan suatu cara untuk

meningkatkan kemampuan aspal dalam campuran yaitu dengan menggunakan bahan tambah. Beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal adalah polymer elastomer, polymer plastomer dan lain-lain.

Karakteristik campuran beraspal seperti stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur ataupun naiknya aspal ke permukaan [11]. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan dengan volume lalu lintas yang hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan perkerasan menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah.

Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan agregat bergradasi baik, bergradasi rapat dapat memberikan rongga antar butiran agregat yang kecil. Keadaan ini menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Untuk membandingkan karakteristik campuran beraspal polymer elastomer dan karakteristik campuran beraspal polymer plastomer.

2. Untuk membandingkan karakteristik campuran beraspal polymer elastomer dan karakteristik campuran beraspal tanpa polymer elastomer.
3. Untuk membandingkan karakteristik campuran beraspal polymer plastomer dan karakteristik campuran beraspal tanpa polymer plastomer.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam Tugas Akhir ini masalah yang dibahas adalah sebagai berikut :

1. Aspal yang digunakan adalah aspal pen. 60 produksi Pertamina.
2. Gradasi yang digunakan adalah Gradasi IV menurut Bina Marga.
3. Bahan tambah yang digunakan pada campuran beraspal adalah polymer elastomer dan polymer plastomer.
4. Campuran beraspal dibuat dengan kondisi lalu lintas berat.
5. Pengujian yang dilakukan menggunakan Metode Marshall dan Metode Perendaman Marshall.

1.4 Metodologi Penelitian

Secara garis besar penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Tinjauan Pustaka; meninjau teori mengenai material yang digunakan dan prosedur pengujian di laboratorium.
2. Pengujian di laboratorium; dilakukan di laboratorium milik Puslitbang Prasarana Transportasi Ujungberung, Bandung.
3. Analisis data; data hasil pengujian di analisis untuk mengetahui perbedaan karakteristik campuran beraspal polymer elastomer dan plastomer.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal [3]

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Aspal bersifat *thermoplastic*, yaitu akan mencair jika dipanaskan dan mengeras jika didinginkan

Jenis aspal sendiri dapat dibedakan berdasarkan sumbernya, yaitu:

1. Aspal minyak; adalah aspal yang diperoleh dari proses destilasi minyak bumi.
2. Aspal alam; adalah aspal yang tersedia di alam secara alamiah.

Aspal alam dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. Aspal danau seperti yang terdapat di danau Trinidad, Venezuela dan Lawele
 - b. Aspal batu seperti yang terdapat di Kentucky, USA dan di pulau Buton, Indonesia.
3. Aspal modifikasi; adalah aspal yang dibuat dengan cara mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah misalnya polymer elastomer dan polymer plastomer.

Aspal yang dipergunakan pada konstruksi jalan harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Daya tahan (*durability*); daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan.
2. Adhesi dan Kohesi; adhesi yang dimaksud adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap pada tempatnya.
3. Kepekaan terhadap temperatur; aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah.
4. Kekerasan; sifat kekerasan aspal sangat penting dalam pekerjaan jalan, terutama untuk penggunaan agregat yang mempunyai susunan rongga kecil (gradasi menerus) dan untuk agregat dengan susunan rongga besar (gradasi terbuka dan gradasi senjang).

Untuk dapat digunakan sebagai bahan konstruksi, aspal mempunyai beberapa persyaratan karakteristik, antara lain :

1. Penetrasi; angka penetrasi merupakan kedalaman yang dapat dicapai oleh suatu jarum standar (diameter 1 mm) pada keadaan temperatur 25 °C, beban 100 gram, dan selama 5 detik, dan dinyatakan dalam 0,1 mm.
2. Titik lembek; adalah temperatur pada saat bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun suatu lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi 25,4 mm, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu.
3. Daktilitas; adalah nilai jarak terpanjang antara dua cetakan yang berisi aspal padat yang ditarik sebelum putus pada temperatur 25 °C dan kecepatan tarik 50 mm/menit.
4. Berat jenis; adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada temperatur kira-kira 25 °C.

Di Indonesia umumnya digunakan aspal padat dengan penetrasi 60 dan penetrasi 80. Aspal padat dengan penetrasi rendah biasanya digunakan di daerah yang bercuaca panas atau di daerah dengan volume lalu lintas tinggi, misal di perkotaan. Sedangkan aspal padat dengan penetrasi tinggi biasanya digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau bila volume lalu lintasnya rendah, misal di pedesaan dengan daerah yang berbukit-bukit. Aspal yang baik harus tidak mengandung air, bila dipanaskan hingga mencapai temperatur 170 °C tidak berbusa, dan memenuhi persyaratan seperti tercantum pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 untuk aspal polymer.

Tabel 2.1 Spesifikasi Aspal Pen 60 Menurut Bina Marga [3]

NO	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi		Satuan
		Min.	Maks.	
1	Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik	60	79	0,1 mm
2	Titik Lembek	48	58	°C
3	Daktalitas, 25 °C	100	–	cm
4	Titik Nyala	200	–	°C
5	Kehilangan Berat 163 °C, 5 jam	–	0,8	% berat
6	Kelarutan dalam Trichlor Ethylene	99	–	% berat
7	Penetrasi Setelah Penurunan Berat	54	–	% asli
8	Daktalitas Setelah Penurunan Berat	50	–	% asli
9	Berat Jenis	1,0	–	–

Tabel 2.2 Spesifikasi Aspal Polymer [3]

NO	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi		Satuan
		Min.	Maks.	
1	Penetrasi, 25 °C, 100 gram, 5 detik	50	80	0,1 mm
2	Titik Lembek	54	–	°C
3	Daktalitas, 25 °C	50	–	cm
4	Titik Nyala	225	–	°C
5	Kehilangan Berat 163 °C, 5 jam	–	1,0	% berat
6	Kelarutan dalam Trichlor Ethylene	99	–	% berat
7	Perbedaan Penetrasi Setelah Penurunan Berat	–	40	% asli
8	Perbedaan Titik Lembek Setelah Penurunan Berat	–	6,5	% asli
9	Berat Jenis	1,0	–	–

2.2 Agregat [3]

Agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau material lain baik berupa hasil alam maupun hasil pengolahan (penyaringan dan pemecahan). Agregat merupakan bahan utama konstruksi perkerasan jalan yang sangat berpengaruh terhadap perencanaan, pelaksanaan, sifat serta kinerja

campuran perkerasan. Proporsi agregat dalam perkerasan umumnya antara 90% sampai dengan 95% terhadap berat campuran, atau sekitar 75% sampai 80% terhadap volume campuran. Dengan demikian daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat yang digunakan.

Berdasarkan ukuran partikel agregat, suatu agregat dapat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No.8 (2,38 mm), sedangkan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No.8 (2,38 mm) dan tertahan saringan No.200 (0,074 mm). Bahan pengisi adalah fraksi agregat halus yang lolos saringan No.200 (0.074 mm), di mana persentase butir yang lolos saringan No. 200 (0,074 mm) minimum 75 % terhadap berat total agregat. Sedangkan Mineral abu merupakan fraksi dari agregat halus yang 100 % lolos saringan No. 200 (0.074 mm).

Terdapat 11 tipe gradasi yang digunakan untuk campuran beraspal menurut Bina Marga, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3. Dalam Tugas Akhir ini digunakan gradasi IV menurut Bina Marga. Gradasi ini dipilih karena ukuran-ukuran agregat pada gradasi tersebut meliputi hampir semua fraksi agregat, mulai dari agregat kasar sampai agregat halus.

Tabel 2.3 Batas-batas Gradasi Agregat Campuran [2]

Nomor Campuran		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Gradasi/Tekstur		Kasar	Kasar	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat
Tebal Padat (mm)		20-40	25-50	20-40	25-50	40-65	50-75	40-50	20-40	40-65	40-65	40-50
Ukuran Saringan		% berat yang lolos										
1,5 inch	38,1 mm	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
1 inch	25,4 mm	-	-	-	-	100	90-100	-	-	100	100	-
3/4 inch	19,1 mm	-	100	-	100	80-100	82-100	100	-	85-100	85-100	100
1/2 inch	12,7 mm	100	75-100	100	80-100	-	72-90	80-100	100	-	-	-
3/8 inch	9,52 mm	75-100	60-85	80-100	70-90	60-80	-	-	-	65-85	56-78	74-92
No. 4	4,76 mm	35-55	35-55	55-75	50-70	48-65	52-70	54-72	62-80	45-65	38-60	48-70
No. 8	2,38 mm	20-35	20-35	35-50	35-50	35-50	40-56	42-58	44-60	34-54	27-47	33-53
No. 30	0,59 mm	10-22	10-22	18-29	18-29	19-30	24-36	26-38	28-40	20-35	13-28	15-30
No. 50	0,297 mm	6-16	6-16	13-23	13-23	13-32	16-26	18-28	20-30	16-26	9-20	10-20
No. 100	0,149 mm	4-12	4-12	8-16	8-16	7-15	10-18	12-20	12-20	10-18	-	-
No. 200	0,074 mm	2-8	2-8	4-10	4-10	1-8	10-18	6-12	6-12	5-10	4-8	4-9

Catatan:

No. Campuran: I, III, IV, VII, IX, X, dan XI digunakan untuk lapis permukaan.

No. Campuran: II digunakan untuk lapis permukaan, perata (*leveling*), dan lapis antara (*binder*).

No. Campuran: V digunakan untuk lapis permukaan dan lapis antara.

2.3 Aspal Polymer Elastomer [10]

Elastomer adalah polymer yang bersifat elastis, apabila ditarik, diberikan tegangan akan kembali ke bentuk semula. *Styrene Butadine Styrene* (SBS), *Styrene Butadine Rubber* (SBR), *Styrene Isoprene Styrene* (SIS), dan lateks adalah jenis-jenis polymer elastomer yang biasanya digunakan sebagai bahan pencampur aspal keras. Penambahan polymer jenis ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat aspal, antara lain penetrasi, kekentalan, titik lembek dan elastisitas aspal keras. Campuran beraspal yang dibuat dengan aspal polymer elastomer akan memiliki tingkat elastisitas yang lebih tinggi dari campuran beraspal yang dibuat dengan aspal keras. Persentase penambahan polymer elastomer pada aspal keras harus ditentukan berdasarkan pengujian laboratorium karena penambahan, karena penambahan yang berlebih justru akan memberikan pengaruh yang negatif.

2.4 Aspal Polymer Plastomer [10]

Plastomer adalah polymer yang bersifat kaku, apabila ditarik, diberikan tegangan tidak akan kembali ke bentuk semula. Seperti halnya dengan aspal polymer elastomer, penambahan polymer plastomer pada aspal keras juga dimaksudkan untuk meningkatkan sifat fisik aspal. Jenis aspal polymer elastomer yang telah banyak digunakan antara lain adalah *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA), *Polypropilene* (PP) dan *Polyethilene* (PE). Persentase penambahan polymer jenis ini ke dalam aspal keras juga harus ditentukan berdasarkan pengujian laboratorium karena penambahan polymer plastomer sampai batas tertentu dapat memperbaiki sifat-sifat aspal.

2.5 Campuran Beraspal [3]

Campuran beraspal adalah suatu campuran yang terdiri dari beberapa material berupa aspal, agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi yang dicampur, dihampar, dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Jika agregat dicampur dengan aspal, maka partikel-partikel antar agregat akan terikat satu sama lain oleh aspal. Rongga-rongga di antara agregat, ada yang terisi aspal dan ada pula yang terisi udara. Tebal lapisan aspal yang menyelimuti agregat bergantung pada kadar aspal yang dipergunakan.

Campuran beraspal biasanya digunakan pada lapisan permukaan jalan. Fungsi campuran beraspal sebagai lapisan permukaan, antara lain adalah :

1. Sebagai lapisan aus (*wearing course*).
2. Memikul beban lalu lintas secara langsung dan mendistribusikan beban-beban permukaan ke lapisan di bawahnya.
3. Sebagai lapisan perkerasan kedap air, untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat pengaruh cuaca.
4. Menahan tegangan geser akibat beban roda.
5. Memberikan kerataan permukaan sehingga tercapai kenyamanan penggunaannya.

Campuran beraspal harus direncanakan sedemikian rupa sehingga didapatkan campuran yang ekonomis dan secara teknis memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Stabilitas (*Stability*)
2. Keawetan (*Durability*)
3. Kelenturan (*Flexibility*)

4. Ketahanan terhadap lelah (*Fatigue Resistance*)
5. Ketahanan terhadap gelincir (*Skid Resistance*)
6. Impermeabilitas (*Impermeability*)
7. Kemudahan untuk dikerjakan (*Workability*)

Adapun persyaratan untuk campuran beraspal pada lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persyaratan Campuran Beraspal [2]

Sifat-sifat Campuran		Campuran Beraspal Untuk Lalu Lintas Berat 75 Tumbukan		
		WC	BC	Base
Penyerapan kadar aspal (%)	Maks	1,2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran / VIM (%)	Min	3,5		
	Maks	5,5		
Rongga dalam agregat / VMA (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal / VFB (%)	Min	63	65	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1500
	Maks	-		-
Pelelehan (mm)	Min	3		5,5
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall Sisa setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (%)	Min	75		

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur maupun bleeding. Untuk mendapatkan stabilitas yang maksimum, kemampuan partikel untuk saling mengunci (*interlocking*) dan daya lekat aspal, dapat dilakukan dengan memilih agregat yang mempunyai bentuk bersudut (*angular*), tekstur permukaan yang kasar, dan gradasinya harus rapat.

Keawetan (Durabilitas) beraspal adalah kemampuan suatu lapisan permukaan untuk menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan temperatur ataupun keausan akibat gesekan kendaraan. Durabilitas dapat ditingkatkan dengan cara :

1. Pemakaian kadar aspal optimum
2. Pemakaian gradasi rapat
3. Pemadatan campuran

Kelenturan adalah kemampuan suatu perkerasan untuk menerima lendutan atau bengkokan akibat beban tanpa mengalami keretakan. Kelenturan dapat dipertinggi dengan menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) dan memakai aspal dengan jumlah yang tinggi. Tetapi kriteria desain campuran yang seimbang perlu diperhatikan agar dicapai formula campuran yang memuaskan. Kandungan aspal yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya kestabilan dan tahanan gelincir perkerasan.

Ketahanan terhadap leleh adalah ketahanan dari lapis beraspal untuk menahan beban dari roda kendaraan yang berulang tanpa terjadinya kerusakan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Pelelehan perkerasan lebih cepat terjadi pada campuran beraspal dengan rongga udara yang tinggi akibat kurangnya pemadatan.

Ketahanan terhadap gelincir atau kekesatan adalah kemampuan permukaan perkerasan beraspal untuk mengurangi pengikisan roda atau tergelincirnya roda kendaraan, baik di waktu hujan atau basah maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dengan ban kendaraan.

Umumnya kekesatan yang tinggi dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

1. Penggunaan kadar aspal yang tepat, sehingga tidak terjadi *bleeding*

2. Penggunaan agregat dengan permukaan yang kasar
3. Penggunaan agregat berbentuk kubus
4. Penggunaan agregat kasar yang cukup

Impermeabilitas adalah daya tahan dari perkerasan beraspal untuk mencegah masuknya udara dan air. Perilaku ini berhubungan dengan kadar rongga dari campuran yang dipadatkan. Impermeabilitas penting untuk durabilitas dari campuran perkerasan yang dipadatkan.

Kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan, sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah :

1. Gradasi Agregat; agregat bergradasi baik (campuran agregat kasar dan halus) lebih mudah dilaksanakan daripada agregat bergradasi lain.
2. Temperatur Campuran; mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
3. Kandungan Bahan Pengisi; jika terlalu banyak bahan pengisi maka pelaksanaannya lebih sukar.

2.6 Metode *Marshall*

Konsep uji *Marshall* pertama kali dikenalkan oleh Bruce Marshall, selanjutnya dikembangkan *U. S. Army Corps of Engineers* [11]. Metode ini umumnya digunakan untuk campuran beraspal yang dibuat dengan proses pencampuran panas. Dengan menggunakan alat pemeriksaan *Marshall*, kinerja

campuran beraspal dapat diperiksa. Pada percobaan Marshall, tiap benda uji diuji dan dianalisis. Dari hasil analisis akan didapat parameter Marshall, yaitu :

1. Stabilitas
2. Kadar persentase rongga dalam campuran (VIM)
3. Kadar persentase rongga dalam agregat (VMA)
4. Kadar persentase rongga terisi aspal (VFB)
5. Pelelehan (*Flow*)
6. *Marshall Quotient*

Kadar aspal optimum suatu campuran sangat mempengaruhi sifat-sifat campuran. Kadar aspal optimum campuran tersebut didapat dari semua parameter Marshall yang dibandingkan dengan syarat campuran aspal yang ditentukan.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji). *Proving ring* ini dilengkapi dengan arloji yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Pada alat Marshall juga terdapat arloji pelelehan untuk mengukur pelelehan benda uji.

Pada uji Marshall digunakan benda uji standar dengan tinggi 63,5 mm (2,5 in) dan diameter 101,6 mm (4 in). Benda uji dipadatkan dalam suatu cetakan (*mold*) dengan menggunakan alat penumbuk Marshall (*Marshall Compaction Hammer*), yang mempunyai berat 4,54 kg (10 lbs) dan dijatuhkan bebas dari ketinggian 457 mm (18 in). Jumlah tumbukan untuk pemadatan bergantung pada beban lalu lintas yang direncanakan.

Setelah dipadatkan, benda uji dikeluarkan dari cetakan dan diletakkan dalam ruang selama 24 jam. Sebelum diuji, benda uji direndam dahulu dalam

waterbath selama 30-40 menit pada temperatur 60°C. Setelah itu benda uji diletakkan pada penjepitnya (*Cylindrically Shape Split Breaking Head*) dan dibebani dengan laju 50,8 mm/menit (2 in/menit) sampai terjadi keruntuhan yang ditandai dengan berhentinya laju alat. Beban maksimum yang telah dikoreksi merupakan stabilitas Marshall, sedangkan deformasi vertikal yang terjadi disebut pelelehan (*flow*).

Nilai stabilitas Marshall menunjukkan beban maksimum yang mampu dipikul oleh benda uji sampai terjadi keruntuhan. Sedangkan nilai pelelehan menunjukkan besarnya perubahan bentuk plastis benda uji campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan.

Untuk mengetahui durabilitas benda uji dilakukan perendaman Marshall (*Marshall Immersion*). Perendaman Marshall dilakukan selama 24 jam pada temperatur 60° C. Kehilangan stabilitas karena perendaman ini dihitung sebagai daya tahan terhadap perusakan air. Perbandingan antara stabilitas setelah direndam (*Marshall Immersion*) dengan stabilitas Marshall tanpa rendaman dinyatakan dalam prosentase indeks perendaman.

2.7 Analisis Variansi (*Analysis of Variance, ANOVA*) [4]

Analisis variansi digunakan untuk pengujian hipotesis yang meliputi lebih dari dua rata-rata populasi. Istilah analisis variansi berarti suatu teknik untuk menganalisis atau menguraikan seluruh (total) variansi atas bagian-bagian yang mempunyai makna.

Salah satu tujuan analisis variansi adalah untuk menentukan apakah perbedaan dari rata-rata sejumlah sampel hanyalah sebagai akibat dari variasi acak

atau dari variasi sistematis. Pada dasarnya, caranya adalah menguraikan total variasi dalam dua bagian penting, yaitu yang mengukur variasi sistematis dan acak atau yang hanya mengukur variasi acak.

Klasifikasi yang dipakai untuk menganalisis data yang dihasilkan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah klasifikasi ekaarah, karena ukuran sampel (benda uji) sama. Sampel acak ukuran n diambil masing-masing dari k populasi. k populasi yang berbeda sering diklasifikasikan menurut perlakuan atau grup yang berbeda. k populasi itu dianggap saling bebas dan berdistribusi normal dengan rata-rata $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ dan variasi σ^2 yang sama.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

H_1 : paling tidak dua di antara rata-rata tidak sama

Data yang didapat kemudian disusun seperti Tabel 2.5.

Tabel 2.5 k Sampel Acak

	Perlakuan					
	1	2	...	I	...	K
					...	y_{k1}
	y_{11}	y_{21}	...	y_{i1}	...	y_{k2}
	y_{12}	y_{22}	...	y_{i2}		

	y_{1n}	y_{2n}	...	y_{in}	...	y_{kn}
Jumlah	$T_{1.}$	$T_{2.}$...	$T_{i.}$...	$T_{k.}$ $T_{..}$
Rataan	$\bar{y}_{1.}$	$\bar{y}_{2.}$...	$\bar{y}_{i.}$...	$\bar{y}_{k.}$ $\bar{y}_{..}$

Agar memudahkan penggunaannya maka suku identitas jumlah kuadrat akan ditandai dengan lambang berikut :

$$SS_{total} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij}^2 - \frac{T^2_{..}}{N}$$

$$SS_{treatment} = \sum_{j=1}^k \frac{T_j^2}{n_j} - \frac{T^2_{..}}{N}$$

$$SS_{error} = SS_{total} - SS_{treatment}$$

di mana :

SS_{total} = jumlah kuadrat total (*Sum of square total*)

$SS_{treatment}$ = jumlah kuadrat perlakuan (*Sum of square treatment*)

SS_{error} = jumlah kuadrat kesalahan (*Sum of square error*)

Perhitungan masalah analisis variansi dapat diringkas dalam bentuk tabel seperti Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Analisis Variansi untuk Klasifikasi Ekaarah

<i>Source of variance</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Degrees of freedom</i>	<i>Mean Square</i>	F
<i>Between Benda Uji</i>	$SS_{treatment}$	$k - 1$	$s_1^2 = \frac{SS_{treatment}}{k - 1}$	$\frac{s_1^2}{s^2}$
<i>Within Benda Uji</i>	SS_{error}	$K(n - 1)$	$s^2 = \frac{SS_{error}}{k(n - 1)}$	
Total	SS_{total}	$nk - 1$		

Nilai F_{kritis} didapat dari tabel Distribusi F. Nilai F yang didapat harus lebih kecil daripada nilai F_{kritis} , apabila nilai F yang didapat lebih besar daripada F_{kritis} maka H_0 ditolak. Namun apabila nilai F_{kritis} lebih besar daripada nilai F yang didapat berarti H_0 diterima.

2.8 Uji Statistik *Student Newman Keuls* [4]

Uji *Student Newman Keuls* digunakan jika hipotesis nol ditolak. Dengan ditolaknya H_0 menunjukkan bahwa sedikit ada dua nilai tengah perlakuan yang berbeda atau dengan kata lain tidak mempunyai rata-rata yang sama. Untuk mengetahui nilai tengah mana yang menunjukkan perbedaan tersebut maka diperlukan pengujian lanjutan untuk melacak perbedaan di antara nilai tengah perlakuan tersebut.

Kelebihan dari uji *Student Newman Keuls* adalah menggunakan beberapa nilai sebagai pembanding untuk pengujian. Pekerjaan pertama yang harus dilakukan pada pengujian *Student Newman Keuls* adalah menyusun nilai tengah perlakuan dari mulai nilai terkecil sampai pada nilai terbesar. Kemudian dilakukan penghitungan galat baku dari nilai tengah perlakuan sebagai berikut :

$$S_{y-j} = \sqrt{\frac{MSE}{n_j}}$$

dimana :

MSE = nilai kuadrat tengah kesalahan = *Error Mean Square*

n_j = jumlah ulangan (jumlah benda uji untuk masing-masing perlakuan)

Selanjutnya menentukan nilai “wilayah nyata *student*” untuk taraf nyata yang telah ditentukan (α) dengan menggunakan Tabel *Upper 5% Point of Studentized Range q* ($p = 2, 3, \dots, t$) yang pada Lampiran 33. Setelah nilai “wilayah nyata *student*” diperoleh, kemudian dihitung “wilayah nyata pendek” (*Least Significant Range, LSR*) dengan menggunakan rumus :

$$LSR = w_p \times S_{y-j}$$

dimana : w_p = wilayah nyata *student*

Kemudian bandingkan wilayah (*range*) nilai tengah perlakuan terbesar dengan nilai tengah perlakuan terkecil dengan LSR untuk $p = t$, wilayah (*range*) nilai tengah terbesar dan nilai tengah terkecil kedua dengan LSR untuk $p = t - 1$, dan seterusnya. Demikian pula dalam pembandingan wilayah (*range*) antara nilai tengah terbesar kedua dengan nilai tengah nilai tengah tekecil dibandingkan dengan LSR untuk $p = t - 1$, wilayah antara nilai tengah terbesar kedua dan nilai tengah terkecil kedua dibandingkan dengan LSR untuk $p = t - 2$, dan seterusnya. Dengan demikian ada $\frac{1}{2}t(t - 1)$ pasangan nilai tengah yang dapat dibandingkan. Jika wilayah antara kedua nilai tengah perlakuan lebih besar daripada nilai LSR yang sesuai, maka dapat dikatakan bahwa kedua nilai tengah perlakuan berbeda nyata atau signifikan pada taraf α .

Untuk membandingkan antar perlakuan dapat digunakan tanda garis. Untuk menyatakan bahwa nilai tengah perlakuan tidak berbeda nyata digunakan garis, sedangkan untuk menyatakan bahwa nilai tengah perlakuan berbeda nyata digunakan garis terputus.

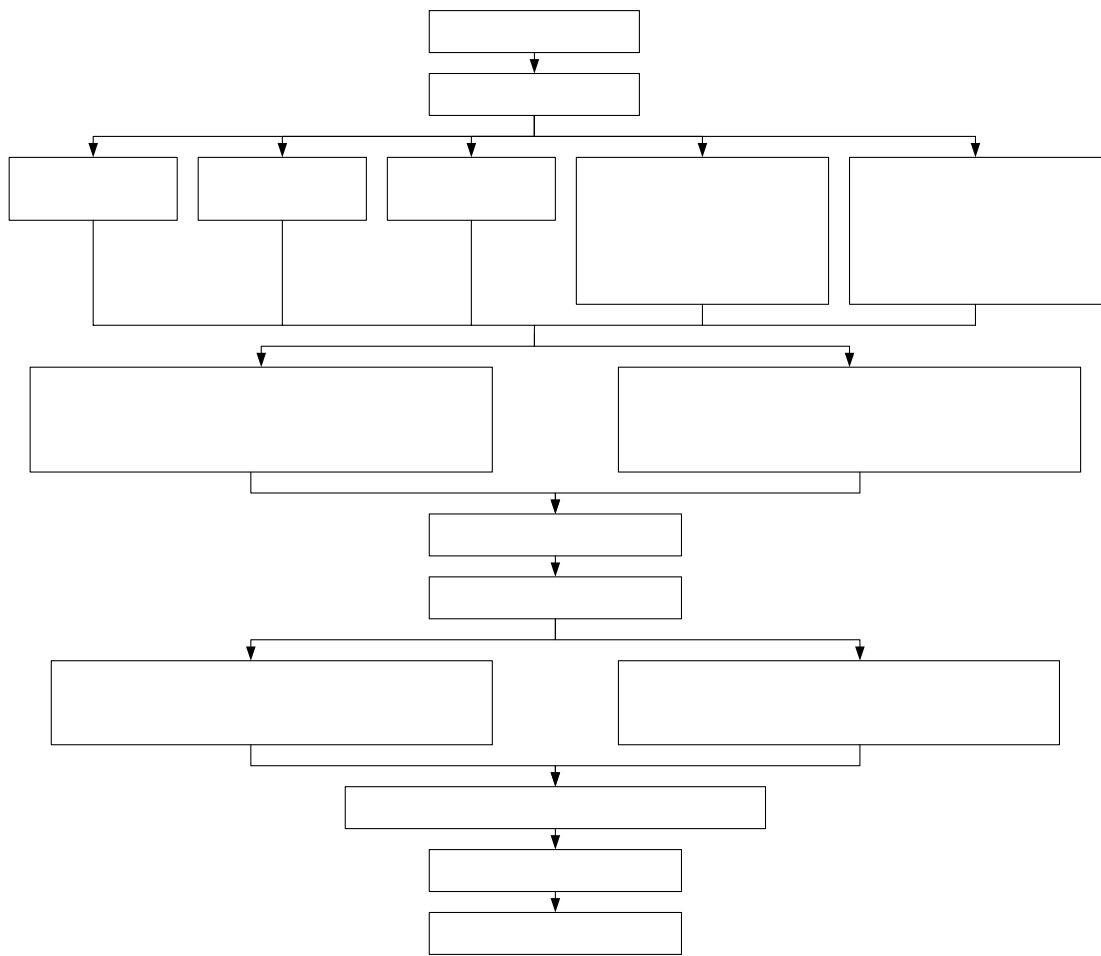
Dari hasil pembandingan antar perlakuan yang telah disusun dan diberi garis, maka dapat diketahui nilai tengah-nilai tengah mana yang menunjukkan perbedaan.

BAB 3

PROSEDUR KERJA DAN UJI LABORATORIUM

3.1 Rencana kerja

Pengujian dilakukan di Laboratorium Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung. Adapun pengujian yang dilakukan adalah pengujian agregat kasar, agregat halus, aspal penetrasi 60 dengan penambahan polymer elastomer serta aspal penetrasi 60 dengan penambahan polymer plastomer masing-masing sebesar 0%, 1%, 3% dan 5%. Prosedur pengujian pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Pengujian di Laboratorium

3.2 Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan dalam pengujian ini adalah aspal yang memenuhi spesifikasi penetrasi 60 yang berasal dari Pertamina. Jenis dan prosedur pengujian yang dilakukan terhadap aspal penetrasi 60 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis dan Prosedur Pengujian Aspal [2]

No	Jenis Pengujian	Prosedur Pengujian
1	Penetrasi (25°C, 100 gram, 5 detik)	SNI 06 – 2456 – 1991
2	Titik Lembek	SNI 06 – 2434 – 1991
3	Daktilitas	SNI 06 – 2432 – 1991
4	Berat Jenis	SNI 06 – 2488 – 1991
5	Penurunan Berat (<i>Thin Film Oven Test</i>)	SNI 06 – 2441 – 1991
6	Kelarutan dalam Trichlor Ethylene	SNI 06 – 2438 – 1991
7	Penetrasi Setelah Penurunan Berat	SNI 06 – 2456 – 1991
8	Titik Lembek Setelah Penurunan Berat	SNI 06 – 2434 – 1991
9	Daktilitas Setelah Penurunan Berat	SNI 06 – 2432 – 1991

3.3 Pengujian Agregat

Pengujian dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi. Spesifikasi dan prosedur pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 sedangkan untuk agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Pengujian terhadap bahan pengisi hanya dilakukan pengujian berat jenis. Prosedur pengujian yang digunakan mengikuti SNI 03 – 1970 – 1990.

Tabel 3.2 Spesifikasi dan Prosedur Pengujian Agregat Kasar [3]

No	Jenis Pengujian	Prosedur Pengujian	Syarat	Satuan
1	Analisis Saringan	SNI 03 – 1969 – 1990	–	–
2	Keausan Agregat	SNI 03 – 2417 – 1991	< 40	%
3	Kelekatan Terhadap Aspal	SNI 03 – 2439 – 1991	> 95	%
4	Indeks Kepipihan	BS. 812 – 75	< 25	%
5	Benturan Agregat Dengan Mesin <i>Impact</i>	SNI 03 – 4426 – 1997	< 25	%
6	Berat Jenis a. <i>Bulk</i> b. <i>SSD</i> c. <i>Apparent</i>	SNI 03 – 1969 – 1990	> 2,5	
7	Penyerapan	SNI 03 – 1969 – 1990	< 3	%

Tabel 3.3 Spesifikasi dan Prosedur Pengujian Agregat Halus [3]

No	Jenis Pengujian	Prosedur Pengujian	Syarat	Satuan
1	Berat Jenis a. <i>Bulk</i> b. <i>SSD</i> c. <i>Apparent</i>	SNI 03 – 1970 – 1990	–	
2	Penyerapan Air	SNI 03 – 1970 – 1990	< 3	%
3	Kadar Lempung	SNI 03 – 4428 – 1997	> 50	%

3.4 Penentuan Gradasi Agregat Campuran

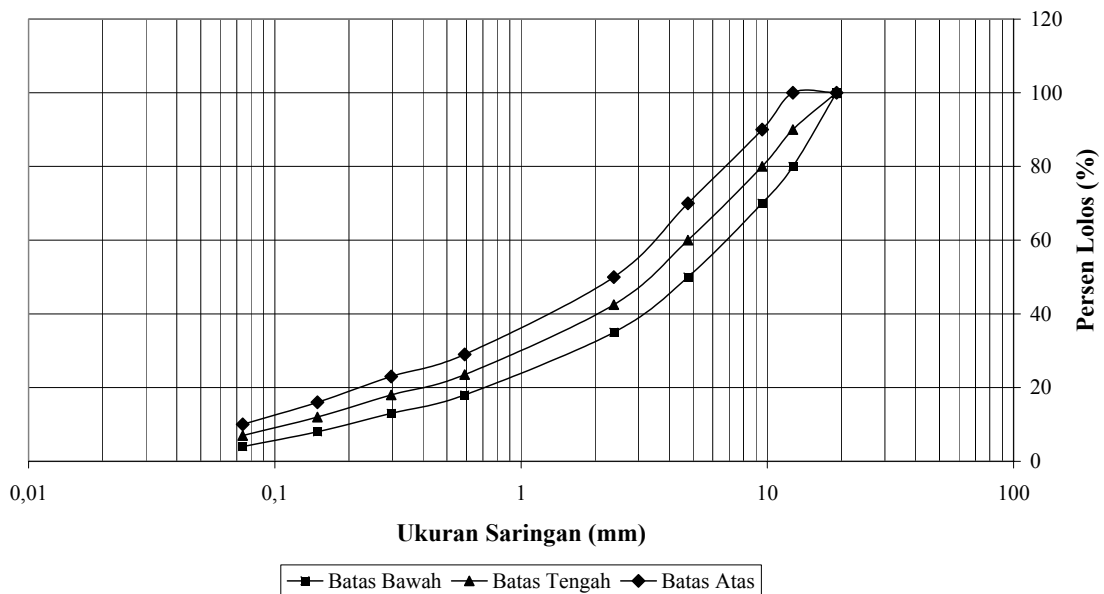
Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi tipe IV menurut Bina Marga yang dapat dilihat pada Tabel 3.3. Benda uji terlebih dahulu dikeringkan dalam *oven* pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, agar diperoleh berat agregat yang konstan. Lalu ditentukan persentase agregat yang lolos pada tiap saringan. Kemudian berdasarkan persentase agregat yang tertahan pada tiap

ukuran saringan, berat agregat ditimbang sesuai ukuran butir masing-masing agregat.

Tabel 3.4 Komposisi Agregat Menurut Bina Marga [3]

Ukuran Saringan		Lolos (%)	Persen Lolos			Persen Tertahan Desain	Berat Pelaksanaan (gram)
			Batas Bawah	Batas Atas	Batas Tengah		
3/4 inch	19,1 mm	100	100	100	100	-	-
1/2 inch	12,7 mm	80-100	80	100	90	10	115
3/8 inch	9,52 mm	70-90	70	90	80	10	115
No. 4	4,76 mm	50-70	50	70	60	20	230
No. 8	2,38 mm	35-50	35	50	42,5	17,5	201,25
No. 30	0,59 mm	18-29	18	29	23,5	19	218,5
No. 50	0,297 mm	13-23	13	23	18	5,5	63,25
No. 100	0,149 mm	8-16	8	16	12	6	69
No. 200	0,074 mm	4-10	4	10	7	5	57,5
Pan						7	80,5
Total						100	1150

Kurva Gradasi Tipe IV Bina Marga



Gambar 3.2 Kurva Gradasi Tipe IV Bina Marga

3.5 Pengujian Marshall

Persiapan benda uji diawali dengan menimbang berat masing-masing fraksi agregat sesuai perencanaan gradasi tipe IV menurut Bina Marga. Panaskan agregat di dalam *oven* dengan temperatur kira-kira 28° C diatas temperatur pencampuran, kemudian dikeluarkan dan timbang untuk mendapatkan berat aspal sesuai kadar aspal yang digunakan. Untuk menentukan kadar aspal optimum, maka pada Tugas Akhir ini dibuat benda uji campuran beraspal dengan penambahan polymer elastomer maupun polymer plastomer. Benda uji campuran beraspal dengan penambahan polymer elastomer maupun polymer plastomer terdiri atas lima variasi mulai dari 5% sampai 7%, dengan kenaikan 0,5% terhadap berat campuran. Adapun variasi penambahan polymer elastomer maupun polymer plastomer adalah sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% terhadap berat aspal. Pada masing-masing kadar aspal dibuat tiga buah benda uji, sehingga jumlah benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum adalah 105 buah. Setelah mendapatkan kadar aspal optimum, di buat benda uji campuran beraspal dengan penambahan polymer elastomer dan benda uji campuran beraspal dengan penambahan polymer plastomer. Masing-masing variasi dibuat tiga buah benda uji, sehingga jumlah benda uji adalah 48 buah.

Selanjutnya aspal dan agregat yang telah dicampur, dipanaskan sampai homogen dan mencapai temperatur pencampuran. Seluruh campuran kemudian dimasukkan ke dalam cetakan *mold* dan di tusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali pada keliling pinggirnya dan 10 kali pada bagian tengahnya.

Setelah itu benda uji yang telah dikeluarkan didiamkan selama 24 jam dalam temperatur ruangan. Persiapan pengujian diawali dengan mengukur tinggi

benda uji dengan ketelitian 0,1 mm. Kemudian benda uji ditimbang terlebih dahulu untuk mendapatkan berat keringnya, selanjutnya benda uji direndam dalam air selama 24 jam dalam temperatur ruang untuk mendapatkan berat didalam air dan berat kering permukaan jenuh. Setelah itu benda uji direndam dalam penangas air dengan temperatur 60°C selama 30 menit. Kemudian benda uji diangkat dari penangas air kemudian dilakukan pengujian Marshall. Selang waktu dari saat benda uji diangkat sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

3.6 Pengujian Perendaman Marshall

Prosedur pengujian Marshall dengan rendaman sama dengan prosedur pengujian Marshall Standar, tetapi berbeda dalam perendaman benda uji. Pada pengujian Marshall dengan rendaman, sebelum dilakukan pengujian benda uji direndam dalam penangas air selama 24 jam pada temperatur 60° C. Fungsi dari pengujian Perendaman Marshall (*Marshall Immersion*) adalah untuk mengetahui durabilitas benda uji. Kehilangan stabilitas karena perendaman ini dihitung sebagai daya tahan terhadap perusakan air. Perbandingan antara stabilitas setelah direndam (*Marshall Immersion*) dengan stabilitas Marshall dinyatakan dalam persentase indeks perendaman.

3.7 Analisis Statistik Parameter Marshall

Hipotesis statistik adalah pernyataan atau dugaan satu atau lebih populasi. Benar atau salahnya suatu hipotesis tidak akan pernah diketahui dengan pasti, kecuali bila dilakukan pemeriksaan terhadap seluruh populasi. Dalam banyak

situasi, hal tersebut tidak mungkin dilakukan. Oleh karena itu dapat diambil contoh atau sampel secara acak dari suatu populasi tersebut dan dengan menggunakan informasi yang dikandung sampel tersebut dapat diputuskan apakah hipotesis tersebut kemungkinan besar benar atau salah.

Bukti dari contoh yang tidak konsisten dengan hipotesis akan membawa suatu penolakan terhadap hipotesis, dan demikian sebaliknya. Penolakan hipotesis berarti menyimpulkan bahwa hipotesis awal yang diambil salah. Uji statistik dapat membantu menyimpulkan apakah hipotesis awal benar atau salah.

Langkah pertama adalah menentukan hipotesis yang akan diambil. Kemudian data yang berupa parameter Marshall dianalisis dengan menggunakan metode *Analysis of Varians* (ANOVA), hingga diketahui apakah perbedaan nilai rata-rata parameter masing-masing benda uji tersebut sesuai dengan hipotesis awal atau tidak. Jika ternyata nilai tersebut tidak sesuai dengan hipotesis awal, maka perlu dilakukan uji *Student Newman Keuls* (SNK) untuk mengetahui nilai tengah mana yang menunjukkan perbedaan tersebut. *Analysis of Varians* (ANOVA) dan SNK dilakukan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*.

BAB 4

DATA DAN ANALISIS

4.1 Hasil Pengujian Aspal

Pengujian yang dilakukan terhadap aspal penetrasi 60 dengan penambahan polymer elastomer sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5% serta polymer plastomer sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5%. Pengujian meliputi penetrasi, titik lembek, berat jenis daktilitas, temperatur campuran, temperatur pemadatan dan berat jenis. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Aspal dengan Penambahan Polymer Elastomer

No	Jenis Uji	% Penambahan Elastomer				Spesifikasi		Satuan
		0%	1%	3%	5%	Min.	Maks.	
1	Penetrasi (25°C, 100 gram, 5 detik)	60	58	54	46	50	80	0,1 mm
2	Titik Lembek	55	58	60	63	54	–	°C
3	Berat Jenis	1,031	1,030	1,028	1,029	1,0	–	–
4	Daktilitas	>140	>140	>140	>140	100	–	cm
5	Temperatur Pencampuran (Viskositas 170 cSt)	155	156	158	159	–	–	°C
6	Temperatur Pemasatan (Viskositas 280 cSt)	140	141	143	145	–	–	°C
7	Penurunan Berat	0,0130	0,0236	0,0347	0,0357	–	1,0	%
8	Perbedaan Penetrasi Setelah Penurunan Berat	56	55	52	48	–	40	% asli
9	Perbedaan Titik Lembek Setelah Penurunan Berat	54	56	59	68	–	6,5	% asli

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Aspal dengan Penambahan Polymer Plastomer

No	Jenis Uji	% Penambahan Plastomer				Spesifikasi		Satuan
		0%	1%	3%	5%	Min.	Maks.	
1	Penetrasi (25°C, 100 gram, 5 detik)	60	55	53	50	50	80	0,1 mm
2	Titik Lembek	55	57	61	65	54	–	°C
3	Berat Jenis	1,031	1,016	1,023	1,029	1,0	–	–
4	Daktilitas	>140	>140	>140	>140	100	–	cm
5	Temperatur Pencampuran (Viskositas 170 cSt)	155	154	159	157	–	–	°C
6	Temperatur Pemasatan (Viskositas 280 cSt)	140	142	141	143	–	–	°C
7	Penurunan Berat	0,0150	0,0254	0,0247	0,0337	–	1,0	%
8	Perbedaan Penetrasi Setelah Penurunan Berat	56	57	51	45	–	40	% asli
9	Perbedaan Titik Lembek Setelah Penurunan Berat	54	58	61	64	–	6,5	% asli

4.2 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat meliputi pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus. Pengujian ini berguna untuk mengetahui mutu dan kualitas agregat tersebut. Hasil pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min.	Maks.	
1	Berat jenis curah (<i>Bulk</i>)	2,675	2,5		
2	Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)	2,708	2,5		
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,766	2,5		
4	Penyerapan (<i>Absorption</i>)	1,928	–	3	%
5	Keausan Agregat	18,95	–	40	%

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min.	Maks.	
1	Berat jenis curah (<i>Bulk</i>)	2,648	2,5		
2	Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)	2,707	2,5		
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,819	2,5		
4	Penyerapan (<i>Absorption</i>)	2,062	–	3	%

Hasil lebih rinci dari tiap tahap pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Lampiran 1 sampai dengan Lampiran 4.

4.3 Hasil Pengujian Marshall

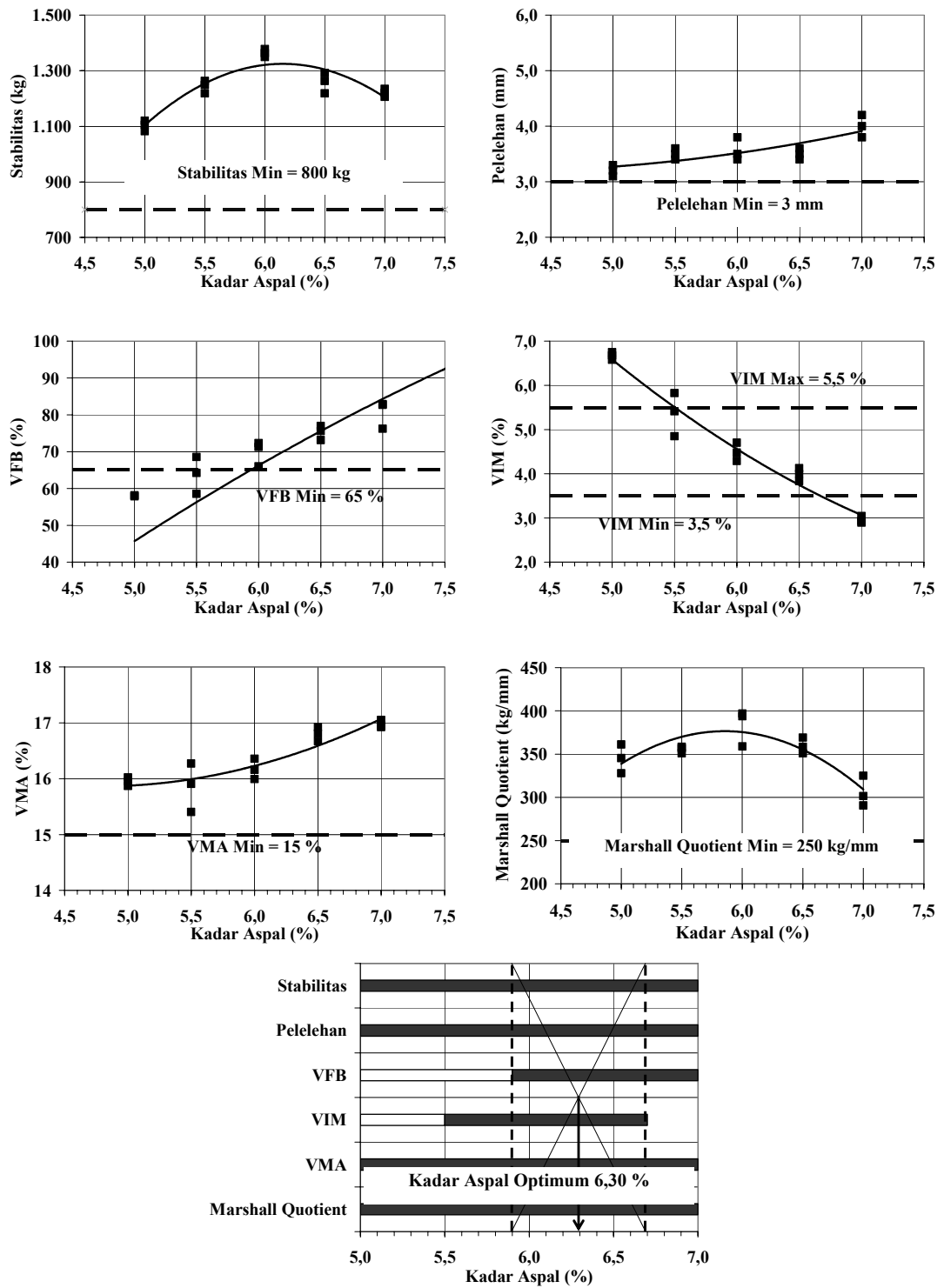
Pengujian campuran beraspal dengan menggunakan pengujian Marshall menghasilkan parameter-parameter Marshall, yaitu stabilitas, pelelehan, indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan (*Marshall Quotient*), rongga dalam campuran (*Voids in Mix – VIM*), rongga dalam mineral agregat (*Voids with Mineral Agregat – VMA*), dan rongga terisi aspal (*Voids Filled in Bitumen – VFB*). Hasil pengujian campuran beraspal tanpa penambahan polymer elastomer / polymer plastomer untuk memperoleh kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 4.5, sedangkan hasil pengujian Marshall dengan penambahan polymer elastomer maupun polymer plastomer pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Marshall tanpa Penambahan Polymer Elastomer / Plastomer untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Terhadap Campuran	Stabilitas (kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
5	1.076,6	16,9	7,7	54,3	3,2	336,5
5	999,9	17,1	7,9	53,6	3,3	303,0
5	1.191,6	16,8	7,6	54,7	3,4	350,5
Rata-rata	1.089,4	16,9	7,8	54,2	3,3	330,0
5,5	1.082,0	17,2	6,9	60,1	3,5	309,2
5,5	1.205,8	15,9	5,4	66,0	3,7	330,4
5,5	1.205,3	16,5	6,1	63,2	3,3	365,2
Rata-rata	1.164,4	16,5	6,1	63,1	3,5	334,9
6	1.349,4	16,5	4,9	70,4	3,6	374,8
6	1.232,7	16,7	5,1	69,3	3,5	352,2
6	1.277,6	16,2	4,5	72,1	3,9	327,6
Rata-rata	1.286,6	16,5	4,8	70,6	3,7	351,5
6,5	1.232,7	17,4	4,6	73,3	3,5	352,2
6,5	1.306,3	16,8	4,0	76,2	3,7	353,1
6,5	1.248,9	17,0	4,3	74,9	3,6	346,9
Rata-rata	1.262,7	17,1	4,3	74,8	3,6	350,7
7	1.191,5	17,0	3,0	82,5	3,9	305,5
7	1.119,7	16,9	2,9	83,0	4,1	273,1
7	1.177,1	17,1	3,1	81,9	4,3	273,8
Rata-rata	1.162,8	17,0	3,0	82,5	4,1	284,1

Dari parameter-parameter Marshall tersebut didapatkan kadar aspal optimum sebesar 6,30 %. Grafik hubungan kadar aspal tanpa penambahan polymer elastomer / plastomer dan parameter Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.1. Data hasil pengujian Marshall serta grafik hubungan kadar aspal dan parameter Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum dengan penambahan polymer elastomer maupun polymer plastomer dapat dilihat pada Lampiran 8, Lampiran 9, Lampiran 11, Lampiran 12, Lampiran 14, Lampiran 15, Lampiran 17, Lampiran 18, Lampiran 20, Lampiran Lampiran 21, Lampiran 23 dan Lampiran 24.

Gambar 4.1 Grafik Hubungan Kadar Aspal tanpa Penambahan Polymer Elastomer / Polymer Plastomer dan Parameter Marshall



Tabel 4.6 Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Elastomer

Kadar Elastomer (%)	Stabilitas (kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
0	1.232,7	16,6	4,3	74,3	3,6	342,4
0	1.260,1	16,5	4,1	75,1	3,5	360,0
0	1.246,4	16,5	4,2	74,8	3,8	328,0
Rata-rata	1.246,4	16,5	4,2	74,7	3,6	343,5
1	1.409,2	16,5	4,6	72,1	3,7	380,9
1	1.422,4	16,4	4,5	72,5	4,2	338,7
1	1.435,5	16,4	4,5	72,6	4,1	350,1
Rata-rata	1.422,4	16,4	4,5	72,4	4,0	356,5
3	1.506,6	16,6	4,3	73,9	4,3	350,4
3	1.475,0	16,6	4,4	73,7	4,0	368,8
3	1.520,3	16,5	4,3	74,0	3,9	389,8
Rata-rata	1.500,7	16,6	4,3	73,9	4,1	369,7
5	1.588,8	16,4	4,4	73,0	4,5	353,1
5	1.602,5	16,5	4,5	73,0	3,5	457,9
5	1.629,9	16,5	4,5	72,8	4,4	370,4
Rata-rata	1.607,1	16,5	4,5	72,9	4,1	393,8

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Marshall pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Plastomer

Kadar Plastomer (%)	Stabilitas (kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
0	1.232,7	16,6	4,3	74,3	3,6	342,4
0	1.260,1	16,5	4,1	75,1	3,5	360,0
0	1.246,4	16,5	4,2	74,8	3,8	328,0
Rata-rata	1.246,4	16,5	4,2	74,7	3,6	343,5
1	1.369,7	16,5	4,3	73,7	4,1	334,1
1	1.410,8	16,4	4,2	74,1	4,5	313,5
1	1.397,1	16,4	4,2	74,1	3,6	388,1
Rata-rata	1.392,5	16,4	4,3	74,0	4,1	345,2
3	1.479,3	16,3	4,3	73,6	3,8	389,3
3	1.520,3	16,5	4,5	72,7	4,2	362,0
3	1.506,6	16,5	4,5	72,9	4,1	367,5
Rata-rata	1.502,1	16,4	4,4	73,1	4,0	372,9
5	1.527,7	16,5	4,4	73,2	4,2	363,7
5	1.514,6	16,5	4,4	73,2	3,5	432,7
5	1.534,0	16,5	4,4	73,3	3,8	403,7
Rata-rata	1.525,4	16,5	4,4	73,2	3,8	400,1

4.4 Hasil Pengujian Perendaman Marshall

Pengujian dilakukan terhadap benda uji dengan penambahan polymer elastomer dan polymer plastomer pada kadar aspal optimum. Proses perendaman dilakukan pada temperatur 60° C 24 jam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Perendaman Marshall pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Elastomer

Kadar Plastomer (%)	Stabilitas (kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
0	1.054,7	16,4	4,0	75,5	3,9	270,4
0	1.082,0	16,2	3,8	76,4	4,0	270,5
0	1.068,4	16,3	3,9	76,0	3,7	288,7
Rata-rata	1.068,4	16,3	3,9	76,0	3,9	276,6
1	1.232,7	16,1	4,2	73,9	4,1	300,7
1	1.246,4	16,1	4,1	74,3	4,2	296,8
1	1.260,1	16,1	4,2	74,2	4,6	273,9
Rata-rata	1.246,4	16,1	4,2	74,1	4,3	290,5
3	1.382,9	16,3	4,0	75,2	4,5	307,3
3	1.343,3	16,3	4,1	75,1	4,3	312,4
3	1.396,0	16,3	4,0	75,3	4,0	349,0
Rata-rata	1.374,1	16,3	4,0	75,2	4,3	322,9
5	1.475,0	16,2	4,2	74,2	3,9	378,2
5	1.488,2	16,2	4,2	74,2	4,4	338,2
5	1.506,6	16,2	4,2	74,3	4,6	327,5
Rata-rata	1.490,0	16,2	4,2	74,2	4,3	348,0

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Perendaman Marshall pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Plastomer

Kadar Plastomer (%)	Stabilitas (kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
0	1.054,7	16,4	4,0	75,5	3,9	270,4
0	1.082,0	16,2	3,8	76,4	4,0	270,5
0	1.068,4	16,3	3,9	76,0	3,7	288,7
Rata-rata	1.068,4	16,3	3,9	76,0	3,9	276,6
1	1.185,3	16,3	4,2	74,4	4,3	275,7
1	1.224,8	16,2	4,1	74,9	4,6	266,3
1	1.211,6	16,2	4,1	74,9	3,6	336,6
Rata-rata	1.207,3	16,3	4,1	74,8	4,2	292,8
3	1.343,3	16,2	4,2	74,2	4,3	312,4
3	1.369,7	16,3	4,2	74,0	4,4	311,3
3	1.356,5	16,2	4,2	74,1	4,6	294,9
Rata-rata	1.356,5	16,2	4,2	74,1	4,4	306,2
5	1.396,0	16,3	4,1	74,6	4,5	310,2
5	1.382,9	16,3	4,2	74,5	4,4	314,3
5	1.409,2	16,4	4,2	74,3	3,7	380,9
Rata-rata	1.396,0	16,3	4,2	74,4	4,2	335,1

Indeks Perendaman seperti yang terlihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 diperoleh dari perbandingan antara stabilitas perendaman Marshall selama 24 jam dan stabilitas Marshall.

Tabel 4.10 Indeks Perendaman pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Elastomer

Benda Uji	Persen (%) Penambahan Polymer Elastomer Terhadap Aspal			
	0%	1%	3%	5%
1	85,6	87,5	91,8	92,8
2	85,9	87,6	91,1	92,9
3	85,7	87,8	91,8	92,4

Tabel 4.11 Indeks Perendaman pada Kadar Aspal Optimum dengan Penambahan Polymer Plastomer

Benda Uji	Persen (%) Penambahan Polymer Plastomer Terhadap Aspal			
	0%	1%	3%	5%
1	85,6	86,5	90,8	91,4
2	85,9	86,8	90,1	91,3
3	85,7	86,7	90,0	91,9

4.5 Analisis Data

Untuk mengetahui pengaruh penambahan polymer elastomer maupun polymer plastomer terhadap karakteristik campuran beraspal dilakukan analisis data dengan uji hipotesis. Analisis data dilakukan dengan metode *analysis of variance (ANOVA)* menggunakan *single factor* dengan bantuan *software Microsoft Excel*. Pada analisis ini digunakan tingkat keterandalan (*level of significance*) $\alpha = 0,05$. Adapun hipotesis yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Uji Hipotesis Terhadap Parameter Marshall

Parameter Marshall	Hipotesis	
	H ₀	H ₁
Stabilitas	$\mu_0 = \mu_1 = \mu_3 = \mu_5$	Tidak H ₀
Pelelehan	$\mu_0 = \mu_1 = \mu_3 = \mu_5$	Tidak H ₀
VFB	$\mu_0 = \mu_1 = \mu_3 = \mu_5$	Tidak H ₀
VIM	$\mu_0 = \mu_1 = \mu_3 = \mu_5$	Tidak H ₀
VMA	$\mu_0 = \mu_1 = \mu_3 = \mu_5$	Tidak H ₀
Marshall Quotient	$\mu_0 = \mu_1 = \mu_3 = \mu_5$	Tidak H ₀
Indeks Perendaman	$\mu_0 = \mu_1 = \mu_3 = \mu_5$	Tidak H ₀

dengan:

μ_0 = Nilai rata-rata parameter Marshall dengan 0% elastomer / plastomer

μ_1 = Nilai rata-rata parameter Marshall dengan 1% elastomer / plastomer

μ_3 = Nilai rata-rata parameter Marshall dengan 3% elastomer / plastomer

μ_5 = Nilai rata-rata parameter Marshall dengan 5% elastomer / plastomer

Dari hasil *analysis of variance (ANOVA)* ini diperoleh nilai F_{crit} dan kemudian dibandingkan dengan nilai F yang dapat dilihat pada Tabel Distribusi F. Besarnya nilai F berdasarkan jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom - df*) antar varian (*between groups*) dan derajat kebebasan dalam varian (*within groups*). Derajat kebebasan antar varian diperoleh dari jumlah varian dikurang 1

(satu), dan derajat kebebasan dalam varian diperoleh dari jumlah total data dikurang 1 (satu) dikurangi derajat kebebasan antar varian. Data hasil *analysis of variance* (ANOVA) ini dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.

Apabila nilai $F_{crit} < F$ maka asumsi awal H_0 ditolak. Dengan ditolaknya H_0 menunjukkan bahwa terdapat nilai tengah varian yang berbeda. Untuk mengetahui varian mana yang berbeda dilakukan uji kehomogenan dengan metode *Student Newman Keuls*. Hasil Uji *Student Newman Keuls* dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4.13 Hasil Analisis Varian data Parameter Marshall dengan Penambahan Polymer Elastomer

Parameter Marshall	Source of Variation	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	F_{crit}	Kesimpulan
Stabilitas (kg)	Between Groups	293.983,8	3	97.994,6			
	Within Groups	2.757,8	8	344,7	284,3	4,066	Ho ditolak
	Total	296.741,6	11	98.339,3			
Pelelehan (mm)	Between Groups	0,40	3	0,13			
	Within Groups	0,57	8	0,07	1,9	4,066	Ho diterima
	Total	0,98	11	0,21			
VFB (%)	Between Groups	6,90	3	2,30			
	Within Groups	0,51	8	0,06	35,9	4,066	Ho ditolak
	Total	7,42	11	2,37			
VIM (%)	Between Groups	0,13	3	0,044			
	Within Groups	0,02	8	0,003	16,2	4,066	Ho ditolak
	Total	0,16	11	0,047			
VMA (%)	Between Groups	0,09	3	0,032			
	Within Groups	0,02	8	0,002	15,1	4,066	Ho ditolak
	Total	0,11	11	0,034			
Marshall Quotient (kg/mm)	Between Groups	9.327,4	3	3.109,1			
	Within Groups	3.101,9	8	387,7	8,0	4,066	Ho ditolak
	Total	12.429,2	11	3.496,9			
Indeks Perendaman (%)	Between Groups	97,12	3	32,37			
	Within Groups	0,57	8	0,07	455,8	4,066	Ho ditolak
	Total	97,69	11	32,45			

Dari Tabel Distribusi F untuk df dalam varian 3, df antar varian 8 dan tingkat keterandalan $\alpha = 0,05$ diperoleh besarnya F_{crit} sama dengan 4,066. Berdasarkan hipotesis awal nilai $F > F_{crit}$ maka H_0 ditolak, dapat disimpulkan bahwa

penambahan polymer elastomer sebesar 1%, 3% dan 5% memberikan perubahan yang nyata terhadap nilai stabilitas, VFB, VIM, VMA, *Marshall Quotient* dan Indeks Perendaman.

Tabel 4.14 Hasil Analisis Varian data Parameter Marshall dengan Penambahan Polymer Plastomer

Parameter Marshall		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	F_{crit}	Kesimpulan
Stabilitas (kg)	<i>Between Groups</i>	201.877,6	3	67.292,5			
	<i>Within Groups</i>	1.878,4	8	234,8	286,6	4,066	Ho ditolak
	<i>Total</i>	203.756,0	11	67.527,3			
Pelelehan (mm)	<i>Between Groups</i>	0,49	3	0,16			
	<i>Within Groups</i>	1,00	8	0,12	1,3	4,066	Ho diterima
	<i>Total</i>	1,49	11	0,29			
VFB (%)	<i>Between Groups</i>	5,97	3	1,99			
	<i>Within Groups</i>	0,61	8	0,08	26,0	4,066	Ho ditolak
	<i>Total</i>	6,58	11	2,06			
VIM (%)	<i>Between Groups</i>	0,146	3	0,049			
	<i>Within Groups</i>	0,026	8	0,003	14,8	4,066	Ho ditolak
	<i>Total</i>	0,172	11	0,052			
VMA (%)	<i>Between Groups</i>	0,013	3	0,004			
	<i>Within Groups</i>	0,020	8	0,003	1,8	4,066	Ho diterima
	<i>Total</i>	0,033	11	0,007			
Marshall Quotient (kg/mm)	<i>Between Groups</i>	5.533,0	3	1.844,3			
	<i>Within Groups</i>	6.474,9	8	809,4	2,3	4,066	Ho diterima
	<i>Total</i>	12.007,9	11	2.653,7			
Indeks Perendaman (%)	<i>Between Groups</i>	70,2	3	23,4			
	<i>Within Groups</i>	0,6	8	0,1	288,4	4,066	Ho ditolak
	<i>Total</i>	70,8	11	23,5			

Berdasarkan hasil analisis diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan polymer plastomer sebesar 1%, 3% dan 5% memberikan perubahan yang nyata (*significance*) terhadap nilai stabilitas, VFB, VIM dan Indeks Perendaman.

Tabel 4.15 Hasil Uji *Studen Newman Keuls* Parameter Marshall dengan Penambahan Polymer Elastomer

Parameter <i>Marshall</i>	Perbandingan Antara Perlakuan		Wilayah (Range)			Wp	Hasil Perbandingan
			Y _{j1}	Y _{j2}	Y _{j2} - Y _{j1}		
Stabilitas (kg)	0%	1%	1.068,4	1.246,4	178,1	34,9	Nyata
	0%	3%	1.068,4	1.374,1	305,7	43,3	Nyata
	0%	5%	1.068,4	1.490,0	421,6	48,6	Nyata
	1%	3%	1.246,4	1.374,1	127,7	43,3	Nyata
	1%	5%	1.246,4	1.490,0	243,6	48,6	Nyata
	3%	5%	1.374,1	1.490,0	115,9	48,6	Tidak Nyata
Pelelehan (mm)	0%	1%	3,87	4,30	0,43	0,61	Tidak Nyata
	0%	3%	3,87	4,27	0,40	0,49	Tidak Nyata
	0%	5%	3,87	4,30	0,43	0,68	Tidak Nyata
	1%	3%	4,30	4,27	-0,03	0,49	Tidak Nyata
	1%	5%	4,30	4,30	0,00	0,68	Tidak Nyata
	3%	5%	4,27	4,30	0,03	0,68	Tidak Nyata
VFB (%)	0%	1%	76,0	74,1	-1,83	0,10	Tidak Nyata
	0%	3%	76,0	75,2	-0,75	0,14	Tidak Nyata
	0%	5%	76,0	74,2	-1,76	0,12	Nyata
	1%	3%	74,1	75,2	1,09	0,14	Tidak Nyata
	1%	5%	74,1	74,2	0,08	0,12	Tidak Nyata
	3%	5%	75,2	74,2	-1,01	0,12	Nyata
VIM (%)	0%	1%	3,92	4,16	0,24	0,11	Nyata
	0%	3%	3,92	4,04	0,12	0,09	Nyata
	0%	5%	3,92	4,18	0,26	0,12	Tidak Nyata
	1%	3%	4,16	4,04	-0,12	0,09	Tidak Nyata
	1%	5%	4,16	4,18	0,02	0,12	Nyata
	3%	5%	4,04	4,18	0,14	0,12	Tidak Nyata
VMA (%)	0%	1%	16,32	16,10	-0,22	0,06	Tidak Nyata
	0%	3%	16,32	16,31	0,00	0,11	Tidak Nyata
	0%	5%	16,32	16,22	-0,09	0,10	Nyata
	1%	3%	16,10	16,31	0,22	0,11	Nyata
	1%	5%	16,10	16,22	0,12	0,10	Tidak Nyata
	3%	5%	16,31	16,22	-0,09	0,10	Tidak Nyata
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	0%	1%	276,56	290,45	13,89	37,07	Nyata
	0%	3%	276,56	322,90	46,34	45,93	Nyata
	0%	5%	276,56	347,99	71,43	51,50	Tidak Nyata
	1%	3%	290,45	322,90	32,45	45,93	Nyata
	1%	5%	290,45	347,99	57,54	51,50	Tidak Nyata
	3%	5%	322,90	347,99	25,09	51,50	Nyata
Indeks Perendaman (%)	0%	1%	85,71	87,63	1,92	0,49	Nyata
	0%	3%	85,71	91,56	5,85	0,62	Nyata
	0%	5%	85,71	92,71	7,00	0,70	Nyata
	1%	3%	87,63	91,56	3,93	0,62	Nyata
	1%	5%	87,63	92,71	5,09	0,70	Nyata
	3%	5%	91,56	92,71	1,15	0,70	Tidak Nyata

0%—————

1%—————3%

—————5%

Tabel 4.16 Hasil Uji *Student Newman Keuls* Parameter Marshall dengan Penambahan Polymer Plastomer

Parameter <i>Marshall</i>	Perbandingan Antara Perlakuan		Wilayah (Range)			Wp	Hasil Perbandingan
			Y _{j1}	Y _{j2}	Y _{j2} - Y _{j1}		
Stabilitas (kg)	0%	1%	1.068,4	1.207,3	138,9	28,9	Nyata
	0%	3%	1.068,4	1.356,5	288,2	35,8	Nyata
	0%	5%	1.068,4	1.396,0	327,7	40,1	Nyata
	1%	3%	1.207,3	1.356,5	149,3	35,8	Nyata
	1%	5%	1.207,3	1.396,0	188,8	40,1	Tidak Nyata
	3%	5%	1.356,5	1.396,0	39,5	40,1	Tidak Nyata
Pelelehan (mm)	0%	1%	3,87	4,17	0,30	0,65	Tidak Nyata
	0%	3%	3,87	4,20	0,33	0,91	Tidak Nyata
	0%	5%	3,87	4,43	0,57	0,81	Tidak Nyata
	1%	3%	4,17	4,43	0,27	0,91	Tidak Nyata
	1%	5%	4,17	4,20	0,03	0,81	Tidak Nyata
	3%	5%	4,43	4,20	-0,23	0,81	Tidak Nyata
VFB (%)	0%	1%	76,0	74,1	-1,87	0,72	Tidak Nyata
	0%	3%	76,0	74,4	-1,53	0,52	Tidak Nyata
	0%	5%	76,0	74,8	-1,20	0,65	Tidak Nyata
	1%	3%	74,8	74,1	-0,67	0,52	Tidak Nyata
	1%	5%	74,8	74,4	-0,33	0,65	Tidak Nyata
	3%	5%	74,1	74,4	0,35	0,65	Nyata
VIM (%)	0%	1%	3,92	4,10	0,18	0,10	Nyata
	0%	3%	3,92	4,21	0,29	0,12	Nyata
	0%	5%	3,92	4,17	0,25	0,14	Tidak Nyata
	1%	3%	4,10	4,21	0,11	0,12	Tidak Nyata
	1%	5%	4,10	4,17	0,07	0,14	Tidak Nyata
	3%	5%	4,21	4,17	-0,04	0,14	Tidak Nyata
VMA (%)	0%	1%	16,32	16,24	-0,07	0,12	Tidak Nyata
	0%	3%	16,32	16,26	-0,06	0,10	Tidak Nyata
	0%	5%	16,32	16,32	0,00	0,14	Tidak Nyata
	1%	3%	16,26	16,24	-0,01	0,10	Tidak Nyata
	1%	5%	16,26	16,32	0,06	0,14	Tidak Nyata
	3%	5%	16,24	16,32	0,07	0,14	Tidak Nyata
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	0%	1%	276,56	292,83	16,27	53,55	Tidak Nyata
	0%	3%	276,56	306,20	29,64	66,36	Tidak Nyata
	0%	5%	276,56	335,12	58,56	74,41	Tidak Nyata
	1%	3%	292,83	306,20	13,37	66,36	Tidak Nyata
	1%	5%	292,83	335,12	42,30	74,41	Tidak Nyata
	3%	5%	306,20	335,12	28,93	74,41	Nyata
Indeks Perendaman (%)	0%	1%	85,71	86,69	0,98	0,54	Nyata
	0%	3%	85,71	90,31	4,60	0,66	Nyata
	0%	5%	85,71	91,51	5,80	0,74	Nyata
	1%	3%	86,69	90,31	3,62	0,66	Nyata
	1%	5%	86,69	91,51	4,82	0,74	Nyata
	3%	5%	90,31	91,51	1,20	0,74	Tidak Nyata

0%—————

1%—————3%

—————5%

Berdasarkan asumsi yang digunakan jika Wilayah > Wilayah Terpendek (Wp) menunjukkan nilai yang dibandingkan berbeda nyata (*significance*) dengan nilai pembanding, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan polymer elastomer sebesar 3% sampai dengan 5% terhadap campuran beraspal dapat meningkatkan nilai stabilitas, VFB, VIM, VMA, *Marshall Quotient* dan Indeks Perendaman secara signifikan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Hasil analisis seperti pada Tabel 4.16 menunjukkan bahwa penambahan polymer plastomer sebesar 3% sampai dengan 5% terhadap campuran beraspal dapat meningkatkan secara signifikan nilai stabilitas, VFB, VIM, *Marshall Quotient* dan Indeks Perendaman.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka dapat disimpulkan :

1. Dari hasil pengujian Marshall diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran beraspal sebagai berikut :
 - a. 6,30% untuk 0% polymer elastomer / polymer palstomer
 - b. 6,10 % untuk 1% polymer elastomer
 - c. 6,25 % untuk 3% polymer elastomer

- d. 6,15 % untuk 5% polymer elastomer
 - e. 6,20 % untuk 1% polymer plastomer
 - f. 6,15 % untuk 3% polymer plastomer
 - g. 6,20 % untuk 5% polymer plastomer
2. Dari hasil analisis data dengan metode *analysis of variance (ANOVA)* dapat disimpulkan bahwa :
- a. Penambahan polymer elastomer sebesar 1%, 3%, dan 5% pada campuran beraspal memberikan perubahan yang nyata (*significance*) pada nilai stabilitas, VFB, VIM, VMA, *Marshall Quotient* dan Indeks Perendaman.
 - b. Penambahan polymer plastomer sebesar 1%, 3%, dan 5% pada pada campuran beraspal memberikan perubahan yang nyata (*significance*) pada nilai stabilitas, VFB, VIM dan Indeks Perendaman.
3. Dari hasil analisis data dengan Uji *Student Newman Keuls* dapat disimpulkan bahwa :
- a. Penambahan polymer elastomer sebesar 3% sampai dengan 5% pada campuran beraspal dapat meningkatkan secara nyata (*significance*) nilai stabilitas, VFB, VIM, VMA, *Marshall Quotient* dan Indeks Perendaman.
 - b. Penambahan polymer plastomer sebesar 3% sampai dengan 5% pada campuran beraspal dapat meningkatkan nilai stabilitas, VFB, VIM, *Marshall Quotient* dan Indeks Perendaman secara nyata (*significance*).
- Untuk menghemat penggunaannya, baik polymer elastomer maupun polymer plastomer cukup dipakai sebesar 3%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan polymer elastomer dan polymer plastomer terhadap campuran beraspal dengan menggunakan tipe gradasi dan penetrasi aspal yang berbeda.
2. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dengan metode pengujian yang lain terhadap campuran beraspal polymer elastomer dan campuran beraspal polymer plastomer.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cowd, M. A (1991), *Kimia Polimer*, ITB, Bandung.
2. Direktorat Jenderal Bina Marga (1987), *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya, SKBI. 2.4.26.1987*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
3. Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah (2002), *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1 : Petunjuk Umum*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung.
4. Gaspersz, V (1995), *Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan*, Penerbit Tarsito, Bandung.
5. Hartono, A. J (1996), *Polimer Mutakhir*, Andi, Yogyakarta.
6. Hose, G (1993), *The Latest Development of Bitumen and Road Surfacing Technology*, HPJI dan Mobil Oil, Jakarta.
7. Knight, J., Johnson, R (1994), *Stabilised Bitument Polymer – Comporsirtions and Method for The Preparation Theorof*, Toronto.
8. Oliver, J. W. H (1990), *Proceeding National Workshop on Polymer Modified Binder*, ARR – 183.

9. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan (1992), *Teknologi Perkerasan Campuran Beraspal untuk Jalan*, Badan Penelitian Dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
10. Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi (2003), *Pengkajian Polymer Sebagai Bahan Jalan Untuk Lalu Lintas Berat*, Badan Penelitian Dan Pengembangan Permukiman dan Prasarana Wilayah, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung.
11. Sukirman, Silvia (1995), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
12. Walsh, D. J., Macomache, J. S (1985), *Polymer Blend and Mixture*, Imperial College, London.
13. Warlaw / Shuler (1998), *Polymer Modified Binder*, ASTM – STP1108.
14. Woodham, R. T (1990), *Polyethylene Asphalt for Paving Application*, Volume 55, Part 564.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

SNI. 03 – 1969 – 1990

Berat benda uji kering oven	BK	1941,8
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	1965,7
Berat benda uji dalam air	BA	1239,8

Berat Jenis Bulk	$\frac{BK}{BJ - BA}$	2,675
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	$\frac{BJ}{BJ - BA}$	2,708
Berat Jenis Apparent	$\frac{BK}{BK - BA}$	2,766
Penyerapan	$\frac{BJ - BK}{BA} \times 100\%$	1,928

Lampiran 2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

SNI. 03 – 1970 – 1990

Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	500
Berat benda uji kering oven	BK	488,6
Berat piknometer diisi air (25°C)	B	2.123,2
Berat piknometer + benda uji + air (25 °C)	B ₁	2.438,5
Berat Jenis Bulk	$\frac{BK}{(B + 500 - B_1)}$	2,648
Berat Jenis Kering Permukaan	$\frac{500}{(B + 500 - B_1)}$	2,707
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\frac{BK}{(B + BK - B_1)}$	2,819
Penyerapan (Absorption)	$\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	2,062

Lampiran 3 Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

SNI 03 – 1968 - 1990

Berat Bahan Kering = 1.150 gram

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen	
			Tertahan	Lewat
76,2 (3 inch)				
63,5 (2½ inch)				
50,8 (2 inch)				
36,1 (1½ inch)				
25,4 (1 inch)	-	-	-	100
19,1 (¾ inch)	489,8	115	10	90
12,7 (½ inch)	588,3	115	10	80
9,52 (⅜ inch)	417,2	230	20	60
No. 4	18,3	201,25	17,5	42,5
No. 8	489,8	218,5	19	90
No. 30	13,4	63,25	5,5	23,5
No. 50	3,4	69	6	18
No. 100	3,4	57,5	5	12
No. 200	5,9	80,5	7	7
Pan	10,3	1150	100	0

Lampiran 4 Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles

SNI 03 – 2417 – 1991

Gradasi Pemeriksaan		=Agregat Kasar	
Saringan		I	II
Lewat	Tertahan	Berat (a)	Berat (b)
76,2 mm (3 inch)	63,5 mm (2 ½ inch)	2500 2500	2500 2500
63,5 mm (2 ½ inch)	50,8 mm (2 inch)		
50,8 mm (2 inch)	37,5 mm (1½ inch)		
37,5 mm (1½ inch)	25,4 mm (1 inch)		
25,4 mm (1 inch)	19,0 mm (¾ inch)		
19,0 mm (¾ inch)	12,5 mm (½ inch)		
12,5 mm (½ inch)	9,5 mm (⅜ inch)		
9,5 mm (⅜ inch)	6,3 mm (¼ inch)		
6,3 mm (¼ inch)	4,75 mm (No. 4)		
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)		
Jumlah Berat		5000	5000
Berat tertahan saringan no. 12 sesudah percobaan (b)		3650,3	3996,2

$$\begin{array}{lcl}
 \text{I. a} & = & 5000 \text{ gram} \\
 \text{b} & = & \underline{3650,3 \text{ gram}} \\
 \text{a-b} & = & 1349,7 \text{ gram}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{lcl}
 \text{II. a} & = & 5000 \text{ gram} \\
 \text{b} & = & \underline{3996,2 \text{ gram}} \\
 \text{a-b} & = & 1003,8 \text{ gram}
 \end{array}$$

$$\text{Keausan I} = \frac{a-b}{a} \times 100\% = 27,0 \%$$

$$\text{Keausan II} = \frac{a-b}{a} \times 100\% = 20,1 \%$$

$$\text{Keausan rata-rata} = 23,5\%$$

**Lampiran 5 Komposisi Campuran Beraspal tanpa Penambahan Polymer Elastomer / Polymer Plastomer
Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum**

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Jenis		Komposisi Campuran Terhadap Berat Total Campuran (%)					
			Bulk	Apparent	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	Rata-rata
½ inch	12,7	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
3/8 inch	9,52	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
No. 4	4,76	230	2,675	2,766	19,00	18,90	18,80	18,70	18,60	
No. 8	2,38	201,25	2,648	2,819	16,63	16,54	16,45	16,36	16,28	
No. 30	0,59	218,5	2,648	2,819	18,05	17,96	17,86	17,77	17,67	
No. 50	0,279	63,25	2,648	2,819	5,23	5,20	5,17	5,14	5,12	
No. 100	0,149	69	2,648	2,819	5,70	5,67	5,64	5,61	5,58	
No. 200	0,074	57,5	2,648	2,819	4,75	4,73	4,70	4,68	4,65	
Pan		80,5	2,648	2,819	6,65	6,62	6,58	6,55	6,51	
Berat Jenis Aspal (Gb)					1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Berat Jenis Bulk Agregat Total (Gsb)					2,659	2,659	2,659	2,659	2,659	2,659
Berat Jenis Apparent Agregat Total (Gsa)					2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798
Berat Jenis Efektif Agregat Total (Gse)					2,728	2,728	2,728	2,728	2,728	2,728
Berat Jenis Maksimum Agregat Total (Gmm)					2,520	2,501	2,483	2,464	2,446	2,483
Kadar Aspal Terserap (Pba), %					0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986
Kadar Aspal Efektif (Pbe), %					4,064	4,569	5,073	5,578	6,083	5,073

**Lampiran 6 Hasil Pengujian Marshall tanpa Penambahan Polymer Elastomer / Polymer Plastomer
Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum**

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
		Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	5,0	1.152,3	1.159,1	669,2	489,9	2,35	2,52	16,0	6,7	58,2	78	1,09	1.119,7	3,1	361,2	4,1
2	5,0	1.162,9	1.167,4	672,6	494,8	2,35	2,52	16,0	6,8	57,9	77	1,09	1.105,4	3,2	345,4	4,7
3	5,0	1.168,1	1.173,7	677,6	496,1	2,35	2,52	15,9	6,6	58,5	79	1,04	1.082,0	3,3	327,9	4,7
Rata-rata					493,6	2,35	2,52	15,9	6,7	58,2			1.102,4	3,2	344,8	4,5
1	5,5	1.169,6	1.173,6	677,1	496,5	2,36	2,50	16,3	5,8	64,2	89	1,04	1.219,0	3,4	358,5	4,6
2	5,5	1.171,0	1.175,1	683,1	492,0	2,38	2,50	15,4	4,8	68,5	88	1,09	1.263,3	3,6	350,9	4,6
3	5,5	1.170,2	1.174,3	679,7	494,6	2,37	2,50	15,9	5,4	66,0	87	1,09	1.248,9	3,5	356,8	4,6
Rata-rata					494,4	2,37	2,50	15,9	5,4	66,2			1.243,7	3,5	355,4	4,6
1	6,0	1.170,3	1.176,8	683,3	493,5	2,37	2,48	16,2	4,5	72,3	96	1,09	1.378,1	3,5	393,7	5,1
2	6,0	1.171,1	1.177,7	682,7	495,0	2,37	2,48	16,4	4,7	71,3	94	1,09	1.349,4	3,4	396,9	5,1
3	6,0	1.168,8	1.175,4	683,5	491,9	2,38	2,48	16,0	4,3	73,2	95	1,09	1.363,8	3,8	358,9	5,1
Rata-rata					493,5	2,37	2,48	16,2	4,5	72,2			1.363,8	3,6	383,2	5,1
1	6,5	1.171,0	1.180,2	684,5	495,7	2,36	2,46	16,9	4,1	75,6	89	1,04	1.219,0	3,4	358,5	5,6
2	6,5	1.170,1	1.176,6	682,8	493,8	2,37	2,46	16,7	3,8	77,0	88	1,09	1.263,3	3,6	350,9	5,6
3	6,5	1.171,7	1.180,0	684,7	495,3	2,37	2,46	16,8	4,0	76,2	90	1,09	1.292,0	3,5	369,1	5,6
Rata-rata					494,9	2,37	2,46	16,8	4,0	76,3			1.258,1	3,5	359,5	5,6
1	7,0	1.169,7	1.176,2	683,7	492,5	2,38	2,45	16,9	2,9	82,9	86	1,09	1.234,6	3,8	324,9	6,1
2	7,0	1.171,6	1.176,9	683,4	493,5	2,37	2,45	17,0	2,9	82,7	84	1,09	1.205,8	4,0	301,5	6,1
3	7,0	1.169,6	1.176,2	683,0	493,2	2,37	2,45	17,0	3,0	82,2	85	1,09	1.220,2	4,2	290,5	6,1
Rata-rata					493,1	2,37	2,45	17,0	3,0	82,6			1.220,2	4,0	305,6	6,1

BJ bulk agregat : 2,659	Bj. efektif agregat : 2,728	Bj. Aspal : 1,030	Absorpsi aspal : 0,986	Bj. maksimum agregat total (Gmm) : 2,483
-------------------------	-----------------------------	-------------------	------------------------	--

Lampiran 7 Komposisi Campuran Beraspal dengan Penambahan 1% Polymer Elastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Jenis		Komposisi Campuran Terhadap Berat Total Campuran (%)					
			Bulk	Apparent	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	Rata-rata
½ inch	12,7	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
3/8 inch	9,52	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
No. 4	4,76	230	2,675	2,766	19,00	18,90	18,80	18,70	18,60	
No. 8	2,38	201,25	2,648	2,819	16,63	16,54	16,45	16,36	16,28	
No. 30	0,59	218,5	2,648	2,819	18,05	17,96	17,86	17,77	17,67	
No. 50	0,279	63,25	2,648	2,819	5,23	5,20	5,17	5,14	5,12	
No. 100	0,149	69	2,648	2,819	5,70	5,67	5,64	5,61	5,58	
No. 200	0,074	57,5	2,648	2,819	4,75	4,73	4,70	4,68	4,65	
Pan		80,5	2,648	2,819	6,65	6,62	6,58	6,55	6,51	
Berat Jenis Aspal (Gb)					1,027	1,027	1,027	1,027	1,027	1,027
Berat Jenis Bulk Agregat Total (Gsb)					2,659	2,659	2,659	2,659	2,659	2,659
Berat Jenis Apparent Agregat Total (Gsa)					2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798
Berat Jenis Efektif Agregat Total (Gse)					2,728	2,728	2,728	2,728	2,728	2,728
Berat Jenis Maksimum Agregat Total (Gmm)					2,519	2,500	2,482	2,463	2,445	2,482
Kadar Aspal Terserap (Pba), %					0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983
Kadar Aspal Efektif (Pbe), %					4,066	4,571	5,076	5,581	6,086	5,076

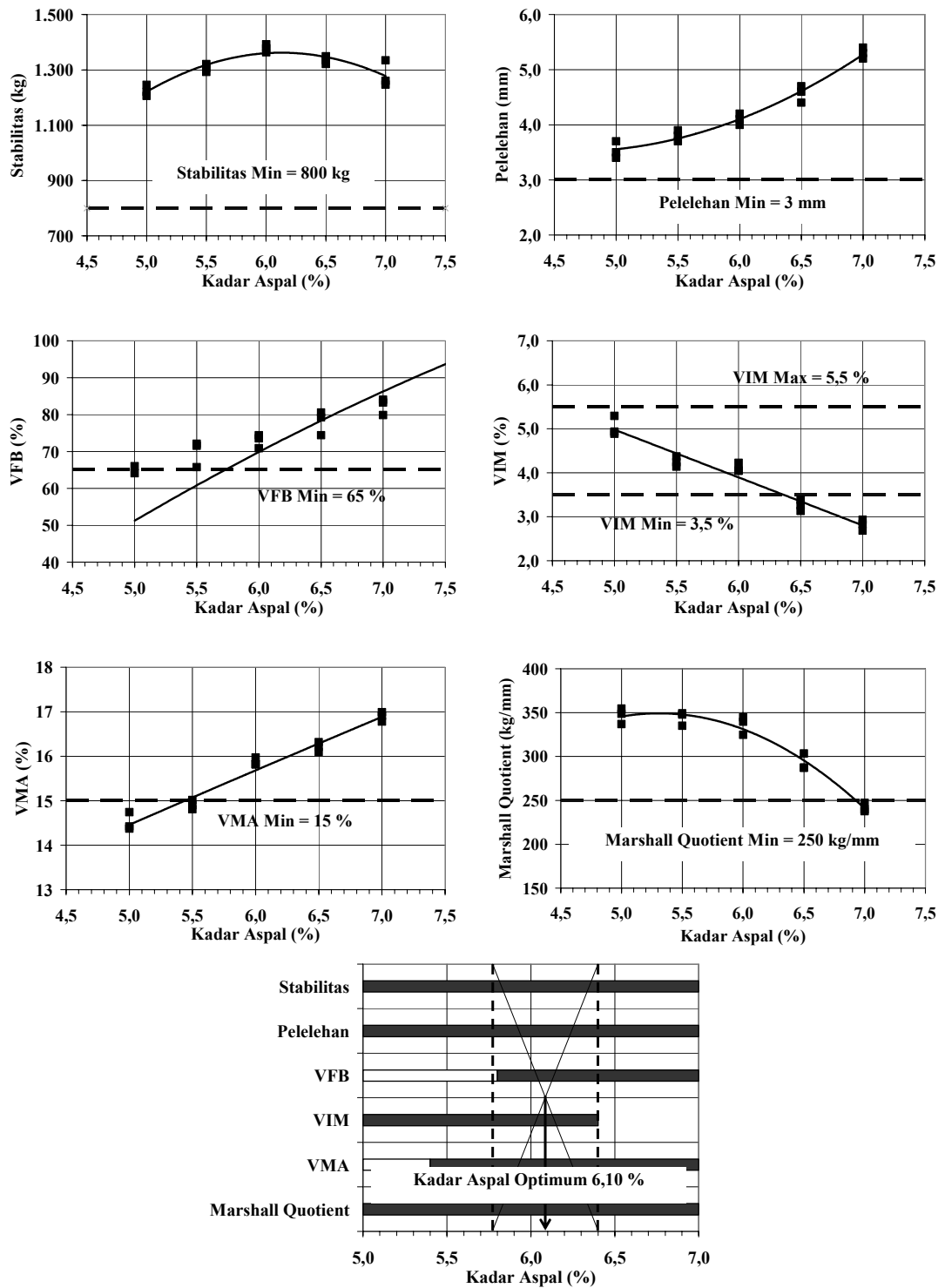
Lampiran 8 Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 1% Polymer Elastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
		Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	5,0	1.166,1	1.170,0	681,3	488,7	2,39	2,52	14,74	5,29	64,09	85	1,09	1.220,2	3,5	348,6	4,1
2	5,0	1.155,3	1.158,7	676,6	482,1	2,40	2,52	14,37	4,89	66,01	83	1,14	1.246,1	3,7	336,8	4,7
3	5,0	1.164,5	1.170,5	684,3	486,2	2,40	2,52	14,42	4,94	65,77	84	1,09	1.205,8	3,4	354,7	4,7
Rata-rata					485,7	2,39	2,52	14,51	5,04	65,29			1.224,1	3,5	346,7	4,5
1	5,5	1.171,1	1.173,1	684,0	489,1	2,39	2,50	14,9	4,2	71,6	91	1,09	1.306,3	3,9	335,0	4,6
2	5,5	1.172,8	1.174,8	685,5	489,3	2,40	2,50	14,8	4,1	72,1	90	1,09	1.292,0	3,7	349,2	4,6
3	5,5	1.170,9	1.172,7	683,0	489,7	2,39	2,50	15,0	4,4	70,9	92	1,09	1.320,7	3,8	347,5	4,6
Rata-rata					489,4	2,39	2,50	14,9	4,2	71,5			1.306,3	3,8	343,9	4,6
1	6,0	1.173,0	1.176,8	684,2	492,6	2,38	2,48	15,8	4,0	74,4	97	1,09	1.392,5	4,1	339,6	5,1
2	6,0	1.173,8	1.177,9	684,0	493,9	2,38	2,48	16,0	4,2	73,6	95	1,09	1.363,8	4,2	324,7	5,1
3	6,0	1.171,5	1.175,4	683,4	492,0	2,38	2,48	15,8	4,0	74,4	96	1,09	1.378,1	4,0	344,5	5,1
Rata-rata					492,8	2,38	2,48	15,9	4,1	74,1			1.378,1	4,1	336,3	5,1
1	6,5	1.176,0	1.177,8	684,9	492,9	2,39	2,46	16,1	3,1	80,6	93	1,09	1.335,0	4,4	303,4	5,6
2	6,5	1.176,5	1.178,8	684,4	494,4	2,38	2,46	16,3	3,4	79,3	94	1,09	1.349,4	4,7	287,1	5,6
3	6,5	1.174,9	1.176,9	683,8	493,1	2,38	2,46	16,2	3,3	79,9	92	1,09	1.320,7	4,6	287,1	5,6
Rata-rata					493,5	2,38	2,46	16,2	3,3	79,9			1.335,0	4,6	292,5	5,6
1	7,0	1.180,3	1.184,2	688,1	496,1	2,38	2,44	16,8	2,7	84,0	91	1,04	1.246,4	5,2	239,7	6,1
2	7,0	1.175,4	1.177,8	683,0	494,8	2,38	2,44	16,9	2,8	83,3	93	1,09	1.335,0	5,4	247,2	6,1
3	7,0	1.178,0	1.181,3	684,9	496,4	2,37	2,44	17,0	2,9	82,8	92	1,04	1.260,1	5,3	237,8	6,1
Rata-rata					495,8	2,38	2,44	16,9	2,8	83,4			1.280,5	5,3	241,6	6,1

BJ bulk agregat	: 2,659	Bj. efektif agregat	: 2,728	Bj. Aspal	: 1,027	Absorpsi aspal	: 0,983	Bj. maksimum agregat total (Gmm)	: 2,482
-----------------	---------	---------------------	---------	-----------	---------	----------------	---------	----------------------------------	---------

Lampiran 9 Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 1% Polymer Elastomer dengan Parameter Marshall



Lampiran 10 Komposisi Campuran Beraspal dengan Penambahan 3% Polymer Elastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Jenis		Komposisi Campuran Terhadap Berat Total Campuran (%)					
			Bulk	Apparent	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	Rata-rata
½ inch	12,7	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
3/8 inch	9,52	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
No. 4	4,76	230	2,675	2,766	19,00	18,90	18,80	18,70	18,60	
No. 8	2,38	201,25	2,648	2,819	16,63	16,54	16,45	16,36	16,28	
No. 30	0,59	218,5	2,648	2,819	18,05	17,96	17,86	17,77	17,67	
No. 50	0,279	63,25	2,648	2,819	5,23	5,20	5,17	5,14	5,12	
No. 100	0,149	69	2,648	2,819	5,70	5,67	5,64	5,61	5,58	
No. 200	0,074	57,5	2,648	2,819	4,75	4,73	4,70	4,68	4,65	
Pan		80,5	2,648	2,819	6,65	6,62	6,58	6,55	6,51	
Berat Jenis Aspal (Gb)					1,028	1,028	1,028	1,028	1,028	1,028
Berat Jenis Bulk Agregat Total (Gsb)					2,659	2,659	2,659	2,659	2,659	2,659
Berat Jenis Apparent Agregat Total (Gsa)					2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798
Berat Jenis Efektif Agregat Total (Gse)					2,728	2,728	2,728	2,728	2,728	2,728
Berat Jenis Maksimum Agregat Total (Gmm)					2,520	2,501	2,482	2,463	2,445	2,482
Kadar Aspal Terserap (Pba), %					0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984
Kadar Aspal Efektif (Pbe), %					4,065	4,570	5,075	5,580	6,085	5,075

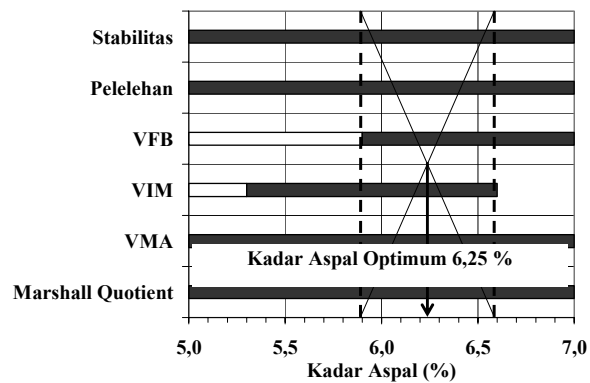
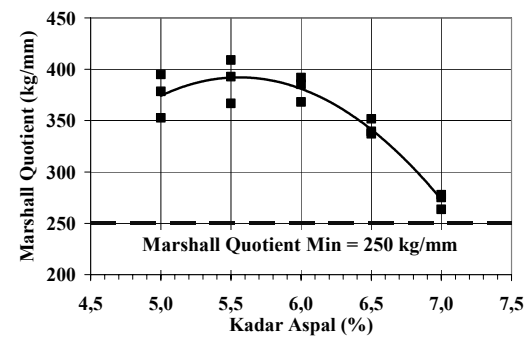
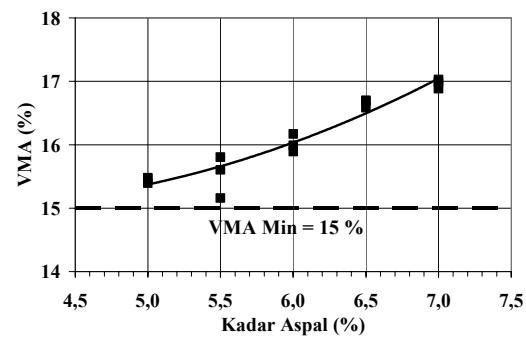
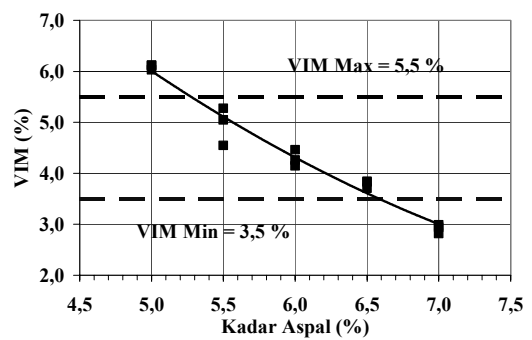
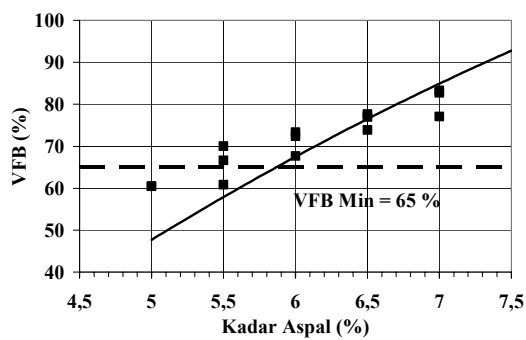
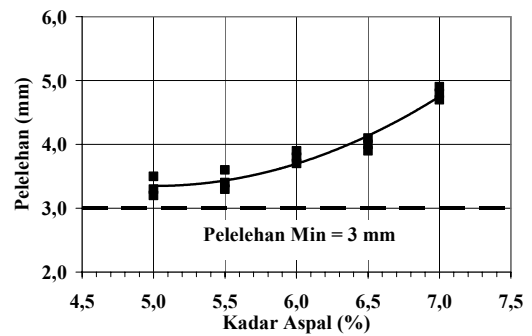
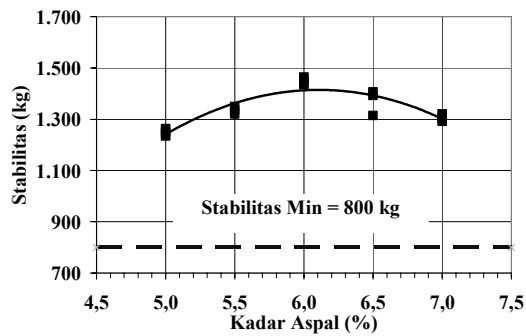
Lampiran 11 Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 3% Polymer Elastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
		Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	5,0	1.156,4	1.161,8	673,0	488,8	2,37	2,52	15,5	6,1	60,5	87	1,09	1.248,9	3,3	378,5	4,1
2	5,0	1.160,3	1.164,3	673,8	490,5	2,37	2,52	15,5	6,1	60,4	86	1,09	1.234,6	3,5	352,7	4,7
3	5,0	1.167,1	1.172,7	679,8	492,9	2,37	2,52	15,4	6,0	60,8	88	1,09	1.263,3	3,2	394,8	4,7
Rata-rata					490,7	2,37	2,52	15,4	6,1	60,6			1.248,9	3,3	375,3	4,5
1	5,5	1.169,7	1.173,1	679,3	493,8	2,37	2,50	15,8	5,3	66,6	92	1,09	1.320,7	3,6	366,9	4,6
2	5,5	1.171,3	1.174,7	684,0	490,7	2,39	2,50	15,2	4,5	70,0	93	1,09	1.335,0	3,4	392,7	4,6
3	5,5	1.169,9	1.173,3	680,6	492,7	2,37	2,50	15,6	5,0	67,7	94	1,09	1.349,4	3,3	408,9	4,6
Rata-rata					492,4	2,38	2,50	15,5	5,0	68,1			1.335,0	3,4	389,5	4,6
1	6,0	1.171,7	1.176,8	683,7	493,1	2,38	2,48	16,0	4,3	73,4	101	1,09	1.449,9	3,7	391,9	5,1
2	6,0	1.172,5	1.177,8	683,3	494,5	2,37	2,48	16,2	4,5	72,4	100	1,09	1.435,5	3,9	368,1	5,1
3	6,0	1.170,2	1.175,4	683,5	491,9	2,38	2,48	15,9	4,1	73,9	102	1,09	1.464,2	3,8	385,3	5,1
Rata-rata					493,2	2,38	2,48	16,0	4,3	73,2			1.449,9	3,8	381,8	5,1
1	6,5	1.173,7	1.181,2	685,7	495,5	2,37	2,46	16,7	3,8	77,0	96	1,04	1.314,9	3,9	337,2	5,6
2	6,5	1.171,3	1.176,5	682,7	493,8	2,37	2,46	16,6	3,7	77,6	97	1,09	1.392,5	4,1	339,6	5,6
3	6,5	1.173,4	1.180,1	684,8	495,3	2,37	2,46	16,7	3,8	77,1	98	1,09	1.406,8	4,0	351,7	5,6
Rata-rata					494,9	2,37	2,46	16,7	3,8	77,2			1.371,4	4,0	342,8	5,6
1	7,0	1.171,7	1.177,1	684,0	493,1	2,38	2,45	16,9	2,8	83,3	92	1,09	1.320,7	4,8	275,1	6,1
2	7,0	1.172,6	1.177,1	683,0	494,1	2,37	2,45	17,0	2,9	82,7	90	1,09	1.292,0	4,9	263,7	6,1
3	7,0	1.171,3	1.176,7	682,9	493,8	2,37	2,45	17,0	3,0	82,5	91	1,09	1.306,3	4,7	277,9	6,1
Rata-rata					493,7	2,37	2,45	17,0	2,9	82,8			1.306,3	4,8	272,3	6,1

BJ bulk agregat	: 2,659	Bj. efektif agregat	: 2,728	Bj. Aspal	: 1,028	Absorpsi aspal	: 0,984	Bj. maksimum agregat total (Gmm)	: 2,482
-----------------	---------	---------------------	---------	-----------	---------	----------------	---------	----------------------------------	---------

Lampiran 12 Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 3% Polymer Elastomer dengan Parameter Marshall



Lampiran 13 Komposisi Campuran Beraspal dengan Penambahan 5% Polymer Elastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Jenis		Komposisi Campuran Terhadap Berat Total Campuran (%)					
			Bulk	Apparent	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	Rata-rata
½ inch	12,7	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
3/8 inch	9,52	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
No. 4	4,76	230	2,675	2,766	19,00	18,90	18,80	18,70	18,60	
No. 8	2,38	201,25	2,648	2,819	16,63	16,54	16,45	16,36	16,28	
No. 30	0,59	218,5	2,648	2,819	18,05	17,96	17,86	17,77	17,67	
No. 50	0,279	63,25	2,648	2,819	5,23	5,20	5,17	5,14	5,12	
No. 100	0,149	69	2,648	2,819	5,70	5,67	5,64	5,61	5,58	
No. 200	0,074	57,5	2,648	2,819	4,75	4,73	4,70	4,68	4,65	
Pan		80,5	2,648	2,819	6,65	6,62	6,58	6,55	6,51	
Berat Jenis Aspal (Gb)					1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025
Berat Jenis Bulk Agregat Total (Gsb)					2,659	2,659	2,659	2,659	2,659	2,659
Berat Jenis Apparent Agregat Total (Gsa)					2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798
Berat Jenis Efektif Agregat Total (Gse)					2,728	2,728	2,728	2,728	2,728	2,728
Berat Jenis Maksimum Agregat Total (Gmm)					2,519	2,500	2,481	2,462	2,444	2,481
Kadar Aspal Terserap (Pba), %					0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981
Kadar Aspal Efektif (Pbe), %					4,068	4,573	5,078	5,583	6,088	5,078

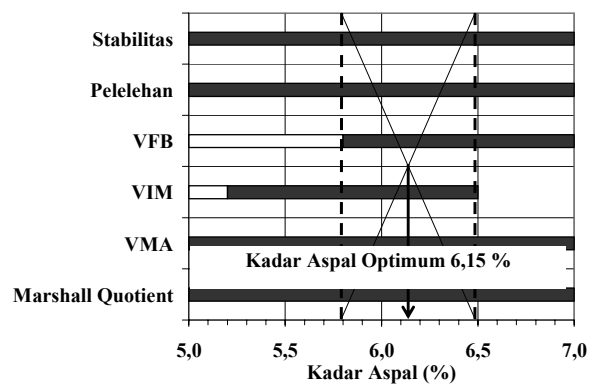
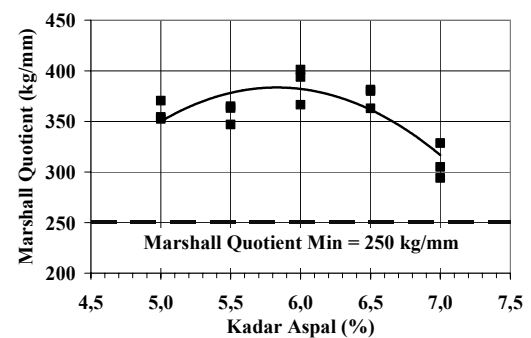
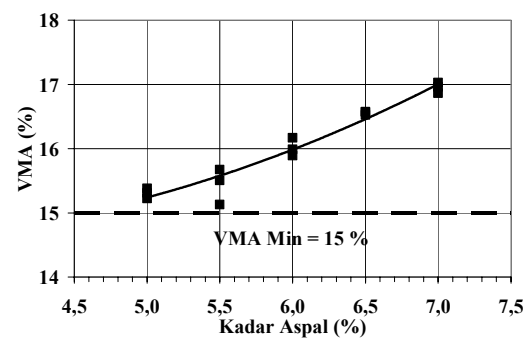
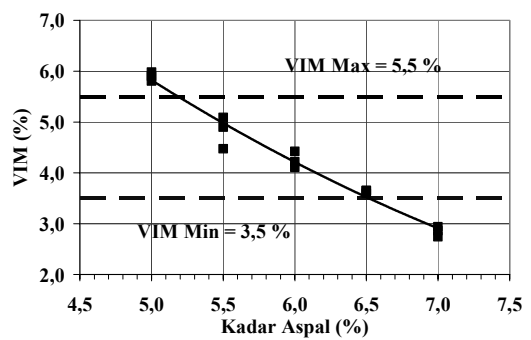
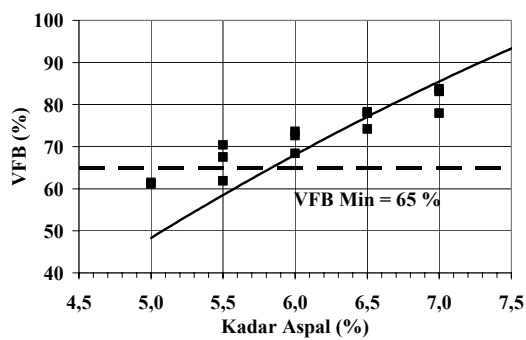
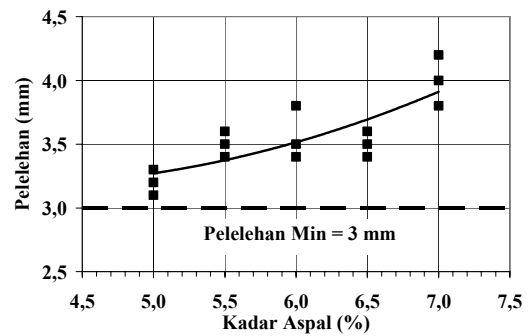
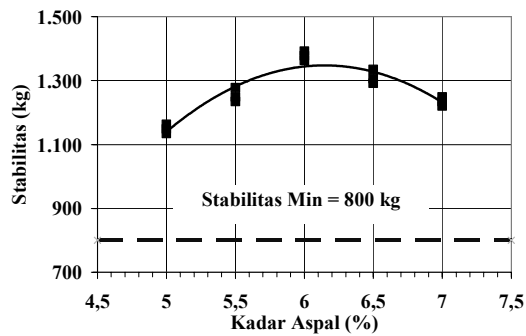
Lampiran 14 Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 5% Polymer Elastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
		Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	5,0	1.158,3	1.163,6	674,5	489,1	2,37	2,52	15,4	6,0	61,1	80	1,09	1.148,4	3,1	370,5	4,1
2	5,0	1.159,5	1.163,5	674,3	489,2	2,37	2,52	15,3	5,9	61,4	79	1,09	1.134,1	3,2	354,4	4,7
3	5,0	1.166,6	1.172,3	680,6	491,7	2,37	2,52	15,2	5,8	61,9	81	1,09	1.162,8	3,3	352,4	4,7
Rata-rata					490,0	2,37	2,52	15,3	5,9	61,5			1.148,4	3,2	359,1	4,5
1	5,5	1.170,1	1.173,3	680,1	493,2	2,37	2,50	15,7	5,1	67,5	86	1,09	1.234,6	3,4	363,1	4,6
2	5,5	1.171,7	1.174,9	684,2	490,7	2,39	2,50	15,1	4,5	70,4	87	1,09	1.248,9	3,6	346,9	4,6
3	5,5	1.170,3	1.173,4	681,1	492,3	2,38	2,50	15,5	4,9	68,4	89	1,09	1.277,6	3,5	365,0	4,6
Rata-rata					492,1	2,38	2,50	15,4	4,8	68,8			1.253,7	3,5	358,4	4,6
1	6,0	1.171,7	1.176,8	683,7	493,1	2,38	2,48	16,0	4,2	73,6	96	1,09	1.378,1	3,5	393,7	5,1
2	6,0	1.172,5	1.177,8	683,3	494,5	2,37	2,48	16,2	4,4	72,6	95	1,09	1.363,8	3,4	401,1	5,1
3	6,0	1.170,2	1.175,4	683,5	491,9	2,38	2,48	15,9	4,1	74,2	97	1,09	1.392,5	3,8	366,4	5,1
Rata-rata					493,2	2,38	2,48	16,0	4,2	73,5			1.378,1	3,6	387,1	5,1
1	6,5	1.173,6	1.179,7	685,0	494,7	2,37	2,46	16,6	3,6	78,0	90	1,09	1.292,0	3,4	380,0	5,6
2	6,5	1.172,6	1.177,3	683,3	494,0	2,37	2,46	16,5	3,6	78,2	91	1,09	1.306,3	3,6	362,9	5,6
3	6,5	1.173,3	1.179,0	684,4	494,6	2,37	2,46	16,6	3,7	77,9	93	1,09	1.335,0	3,5	381,4	5,6
Rata-rata					494,4	2,37	2,46	16,6	3,6	78,1			1.311,1	3,5	374,8	5,6
1	7,0	1.173,9	1.179,2	685,3	493,9	2,38	2,44	16,9	2,7	83,7	87	1,09	1.248,9	3,8	328,7	6,1
2	7,0	1.173,2	1.177,3	683,1	494,2	2,37	2,44	17,0	2,9	83,1	85	1,09	1.220,2	4,0	305,1	6,1
3	7,0	1.173,0	1.178,1	683,6	494,5	2,37	2,44	17,0	2,9	82,7	86	1,09	1.234,6	4,2	293,9	6,1
Rata-rata					494,2	2,37	2,44	17,0	2,8	83,2			1.234,6	4,0	309,2	6,1

BJ bulk agregat	: 2,659	Bj. efektif agregat	: 2,728	Bj. Aspal	: 1,025	Absorpsi aspal	: 0,981	Bj. maksimum agregat total (Gmm)	: 2,481
-----------------	---------	---------------------	---------	-----------	---------	----------------	---------	----------------------------------	---------

Lampiran 15 Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 5% Polymer Elastomer dengan Parameter Marshall



Lampiran 16 Komposisi Campuran Beraspal dengan Penambahan 1% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Jenis		Komposisi Campuran Terhadap Berat Total Campuran (%)					
			Bulk	Apparent	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	Rata-rata
½ inch	12,7	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
3/8 inch	9,52	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
No. 4	4,76	230	2,675	2,766	19,00	18,90	18,80	18,70	18,60	
No. 8	2,38	201,25	2,648	2,819	16,63	16,54	16,45	16,36	16,28	
No. 30	0,59	218,5	2,648	2,819	18,05	17,96	17,86	17,77	17,67	
No. 50	0,279	63,25	2,648	2,819	5,23	5,20	5,17	5,14	5,12	
No. 100	0,149	69	2,648	2,819	5,70	5,67	5,64	5,61	5,58	
No. 200	0,074	57,5	2,648	2,819	4,75	4,73	4,70	4,68	4,65	
Pan		80,5	2,648	2,819	6,65	6,62	6,58	6,55	6,51	
Berat Jenis Aspal (Gb)					1,027	1,027	1,027	1,027	1,027	1,027
Berat Jenis Bulk Agregat Total (Gsb)					2,659	2,659	2,659	2,659	2,659	2,659
Berat Jenis Apparent Agregat Total (Gsa)					2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798
Berat Jenis Efektif Agregat Total (Gse)					2,728	2,728	2,728	2,728	2,728	2,728
Berat Jenis Maksimum Agregat Total (Gmm)					2,519	2,500	2,482	2,463	2,445	2,482
Kadar Aspal Terserap (Pba), %					0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983
Kadar Aspal Efektif (Pbe), %					4,066	4,571	5,076	5,581	6,086	5,076

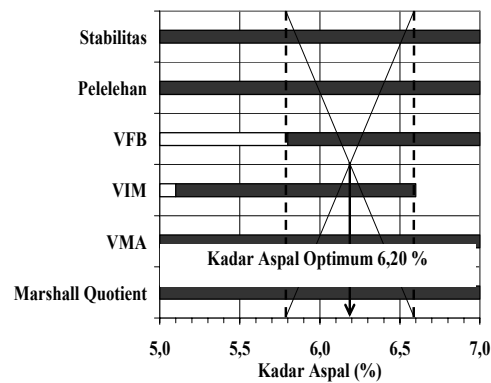
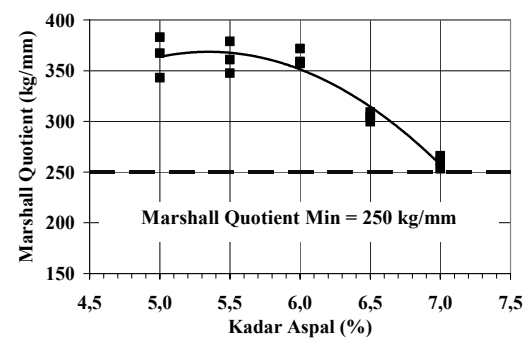
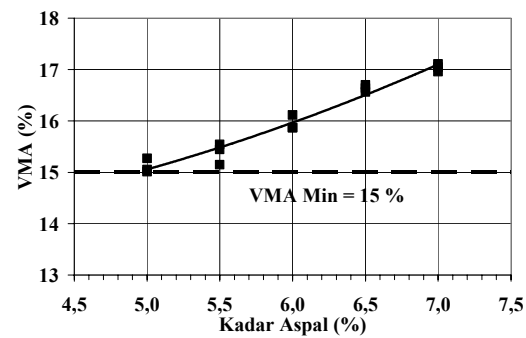
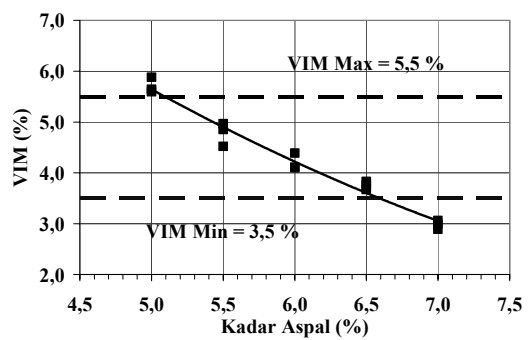
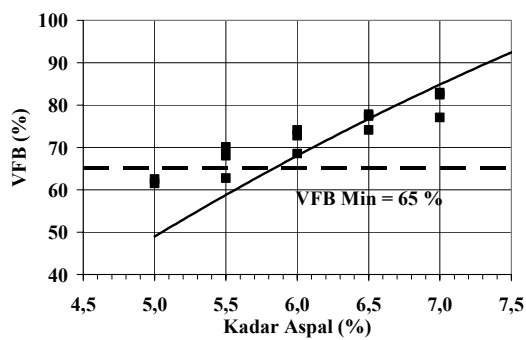
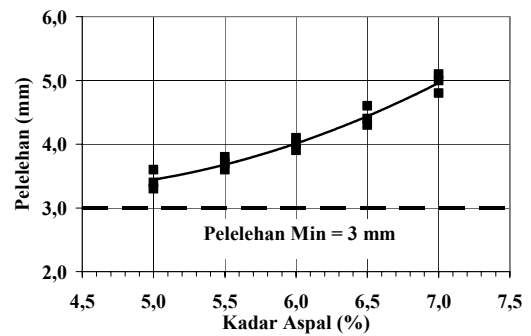
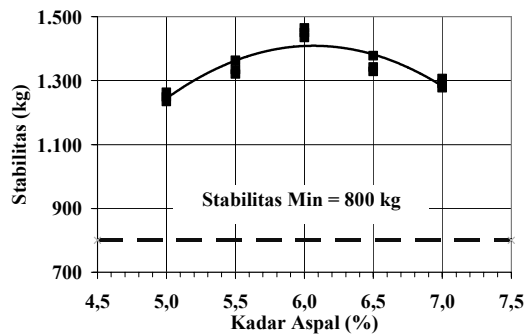
Lampiran 17 Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 1% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
		Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	5,0	1.160,5	1.165,9	676,5	489,4	2,37	2,52	15,3	5,9	61,5	87	1,09	1.248,9	3,4	367,3	4,1
2	5,0	1.158,7	1.162,8	675,4	487,4	2,38	2,52	15,1	5,6	62,5	86	1,09	1.234,6	3,6	342,9	4,7
3	5,0	1.165,7	1.171,7	681,6	490,1	2,38	2,52	15,0	5,6	62,7	88	1,09	1.263,3	3,3	382,8	4,7
Rata-rata					489,0	2,38	2,52	15,1	5,7	62,2			1.248,9	3,4	364,4	4,5
1	5,5	1.171,0	1.173,8	681,0	492,8	2,38	2,50	15,5	5,0	68,1	92	1,09	1.320,7	3,8	347,5	4,6
2	5,5	1.172,4	1.175,2	684,1	491,1	2,39	2,50	15,1	4,5	70,1	93	1,09	1.335,0	3,7	360,8	4,6
3	5,5	1.171,4	1.174,1	681,7	492,4	2,38	2,50	15,4	4,9	68,6	95	1,09	1.363,8	3,6	378,8	4,6
Rata-rata					492,1	2,38	2,50	15,4	4,8	68,9			1.339,8	3,7	362,4	4,6
1	6,0	1.174,3	1.177,9	684,4	493,5	2,38	2,48	15,9	4,1	74,1	100	1,09	1.435,5	4,0	358,9	5,1
2	6,0	1.174,7	1.178,7	683,6	495,1	2,37	2,48	16,1	4,4	72,8	102	1,09	1.464,2	4,1	357,1	5,1
3	6,0	1.173,2	1.176,9	683,9	493,0	2,38	2,48	15,9	4,1	74,1	101	1,09	1.449,9	3,9	371,8	5,1
Rata-rata					493,9	2,38	2,48	16,0	4,2	73,7			1.449,9	4,0	362,6	5,1
1	6,5	1.176,9	1.182,9	686,4	496,5	2,37	2,46	16,6	3,8	77,4	97	1,04	1.328,6	4,3	309,0	5,6
2	6,5	1.173,9	1.177,9	683,1	494,8	2,37	2,46	16,6	3,7	77,8	96	1,09	1.378,1	4,6	299,6	5,6
3	6,5	1.175,8	1.181,2	684,8	496,4	2,37	2,46	16,7	3,8	77,1	98	1,04	1.342,3	4,4	305,1	5,6
Rata-rata					495,9	2,37	2,46	16,6	3,8	77,4			1.349,7		304,5	5,6
1	7,0	1.174,4	1.178,9	684,2	494,7	2,37	2,44	17,0	2,9	82,9	90	1,09	1.292,0	5,1	253,3	6,1
2	7,0	1.174,8	1.178,5	683,1	495,4	2,37	2,44	17,1	3,0	82,4	91	1,09	1.306,3	5,0	261,3	6,1
3	7,0	1.174,0	1.178,5	683,1	495,4	2,37	2,44	17,1	3,1	82,1	89	1,09	1.277,6	4,8	266,2	6,1
Rata-rata					495,2	2,37	2,44	17,0	3,0	82,5			1.292,0	5,0	260,3	6,1

BJ bulk agregat	: 2,659	Bj. efektif agregat	: 2,728	Bj. Aspal	: 1,027	Absorpsi aspal	: 0,983	Bj. maksimum agregat total (Gmm)	: 2,482
-----------------	---------	---------------------	---------	-----------	---------	----------------	---------	----------------------------------	---------

Lampiran 18 Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 1% Polymer Plastomer dengan Parameter Marshall



Lampiran 19 Komposisi Campuran Beraspal dengan Penambahan 3% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Jenis		Komposisi Campuran Terhadap Berat Total Campuran (%)					
			Bulk	Apparent	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	Rata-rata
½ inch	12,7	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
3/8 inch	9,52	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
No. 4	4,76	230	2,675	2,766	19,00	18,90	18,80	18,70	18,60	
No. 8	2,38	201,25	2,648	2,819	16,63	16,54	16,45	16,36	16,28	
No. 30	0,59	218,5	2,648	2,819	18,05	17,96	17,86	17,77	17,67	
No. 50	0,279	63,25	2,648	2,819	5,23	5,20	5,17	5,14	5,12	
No. 100	0,149	69	2,648	2,819	5,70	5,67	5,64	5,61	5,58	
No. 200	0,074	57,5	2,648	2,819	4,75	4,73	4,70	4,68	4,65	
Pan		80,5	2,648	2,819	6,65	6,62	6,58	6,55	6,51	
Berat Jenis Aspal (Gb)					1,028	1,028	1,028	1,028	1,028	1,028
Berat Jenis Bulk Agregat Total (Gsb)					2,659	2,659	2,659	2,659	2,659	2,659
Berat Jenis Apparent Agregat Total (Gsa)					2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798
Berat Jenis Efektif Agregat Total (Gse)					2,728	2,728	2,728	2,728	2,728	2,728
Berat Jenis Maksimum Agregat Total (Gmm)					2,520	2,501	2,482	2,463	2,445	2,482
Kadar Aspal Terserap (Pba), %					0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984
Kadar Aspal Efektif (Pbe), %					4,065	4,570	5,075	5,580	6,085	5,075

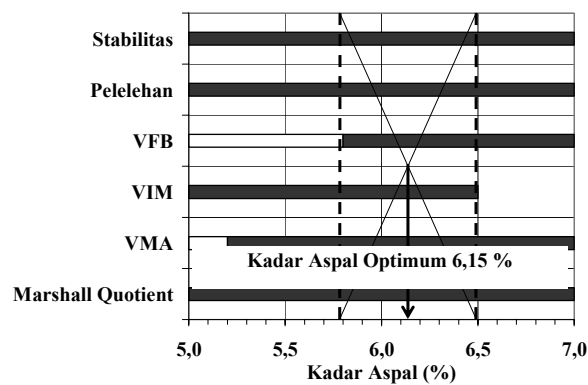
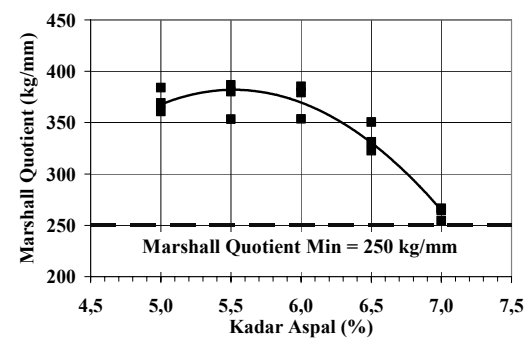
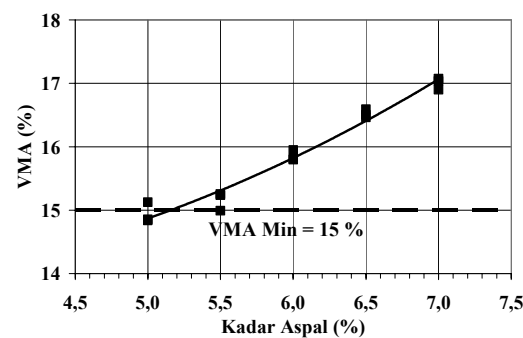
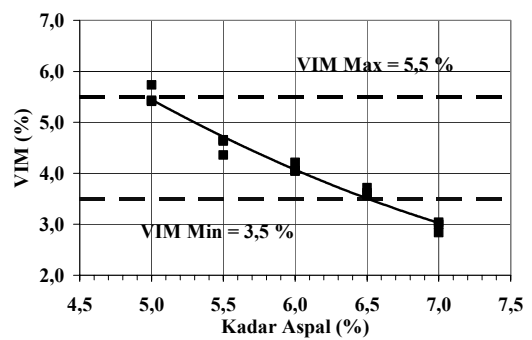
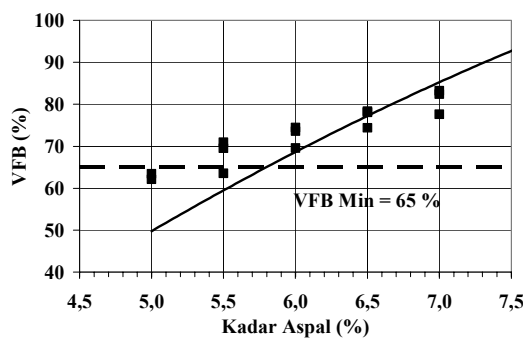
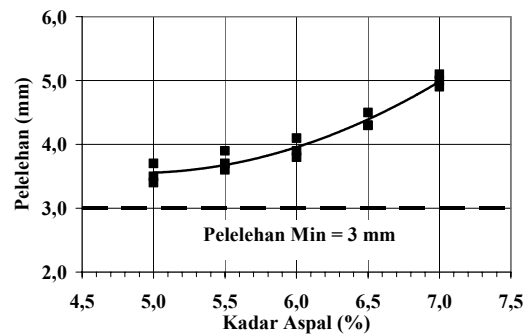
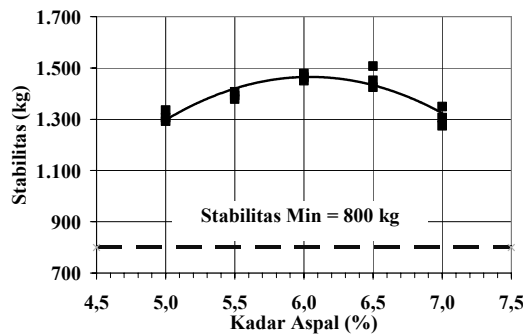
Lampiran 20 Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 3% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
		Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	5,0	1.162,5	1.167,4	678,0	489,4	2,38	2,52	15,1	5,7	62,1	90	1,09	1.292,0	3,5	369,1	4,1
2	5,0	1.157,4	1.161,2	675,5	485,7	2,38	2,52	14,9	5,4	63,4	93	1,09	1.335,0	3,7	360,8	4,7
3	5,0	1.165,5	1.171,4	682,4	489,0	2,38	2,52	14,8	5,4	63,5	91	1,09	1.306,3	3,4	384,2	4,7
Rata-rata					488,0	2,38	2,52	14,9	5,5	63,0			1.311,1	3,5	371,4	4,5
1	5,5	1.170,2	1.172,9	682,1	490,8	2,38	2,50	15,3	4,7	69,5	97	1,09	1.392,5	3,6	386,8	4,6
2	5,5	1.171,7	1.174,3	684,4	489,9	2,39	2,50	15,0	4,4	70,9	96	1,09	1.378,1	3,9	353,4	4,6
3	5,5	1.170,7	1.173,2	682,3	490,9	2,38	2,50	15,2	4,6	69,6	98	1,09	1.406,8	3,7	380,2	4,6
Rata-rata					490,5	2,39	2,50	15,2	4,5	70,0			1.392,5	3,7	373,5	4,6
1	6,0	1.174,6	1.177,5	684,3	493,2	2,38	2,48	15,8	4,0	74,4	101	1,09	1.449,9	4,1	353,6	5,1
2	6,0	1.175,1	1.178,4	684,1	494,3	2,38	2,48	16,0	4,2	73,6	102	1,09	1.464,2	3,8	385,3	5,1
3	6,0	1.173,5	1.176,5	683,7	492,8	2,38	2,48	15,8	4,1	74,4	103	1,09	1.478,6	3,9	379,1	5,1
Rata-rata					493,4	2,38	2,48	15,9	4,1	74,1			1.464,2	3,9	372,7	5,1
1	6,5	1.178,0	1.183,0	687,1	495,9	2,38	2,46	16,5	3,6	78,3	104	1,04	1.424,5	4,3	331,3	5,6
2	6,5	1.174,3	1.177,7	683,1	494,6	2,37	2,46	16,5	3,6	78,1	105	1,09	1.507,3	4,3	350,5	5,6
3	6,5	1.176,4	1.180,9	684,9	496,0	2,37	2,46	16,6	3,7	77,6	106	1,04	1.451,9	4,5	322,6	5,6
Rata-rata					495,5	2,37	2,46	16,5	3,6	78,0			1.461,2	4,4	334,8	5,6
1	7,0	1.175,5	1.179,5	684,7	494,8	2,38	2,45	16,9	2,8	83,2	94	1,09	1.349,4	5,1	264,6	6,1
2	7,0	1.175,0	1.178,3	682,9	495,4	2,37	2,45	17,0	3,0	82,4	91	1,09	1.306,3	4,9	266,6	6,1
3	7,0	1.174,7	1.178,7	683,2	495,5	2,37	2,45	17,1	3,0	82,2	93	1,04	1.273,8	5,0	254,8	6,1
Rata-rata					495,2	2,37	2,45	17,0	3,0	82,6			1.309,8	5,0	262,0	6,1

BJ bulk agregat	: 2,659	Bj. efektif agregat	: 2,728	Bj. Aspal	: 1,028	Absorpsi aspal	: 0,984	Bj. maksimum agregat total (Gmm)	: 2,482
-----------------	---------	---------------------	---------	-----------	---------	----------------	---------	----------------------------------	---------

Lampiran 21 Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 3% Polymer Plastomer dengan Parameter Marshall



Lampiran 22 Komposisi Campuran Beraspal dengan Penambahan 5% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Jenis		Komposisi Campuran Terhadap Berat Total Campuran (%)					
			Bulk	Apparent	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	Rata-rata
½ inch	12,7	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
3/8 inch	9,52	115	2,675	2,766	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30	
No. 4	4,76	230	2,675	2,766	19,00	18,90	18,80	18,70	18,60	
No. 8	2,38	201,25	2,648	2,819	16,63	16,54	16,45	16,36	16,28	
No. 30	0,59	218,5	2,648	2,819	18,05	17,96	17,86	17,77	17,67	
No. 50	0,279	63,25	2,648	2,819	5,23	5,20	5,17	5,14	5,12	
No. 100	0,149	69	2,648	2,819	5,70	5,67	5,64	5,61	5,58	
No. 200	0,074	57,5	2,648	2,819	4,75	4,73	4,70	4,68	4,65	
Pan		80,5	2,648	2,819	6,65	6,62	6,58	6,55	6,51	
Berat Jenis Aspal (Gb)					1,025	1,025	1,025	1,025	1,025	1,025
Berat Jenis Bulk Agregat Total (Gsb)					2,659	2,659	2,659	2,659	2,659	2,659
Berat Jenis Apparent Agregat Total (Gsa)					2,798	2,798	2,798	2,798	2,798	2,798
Berat Jenis Efektif Agregat Total (Gse)					2,728	2,728	2,728	2,728	2,728	2,728
Berat Jenis Maksimum Agregat Total (Gmm)					2,519	2,500	2,481	2,462	2,444	2,481
Kadar Aspal Terserap (Pba), %					0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981
Kadar Aspal Efektif (Pbe), %					4,068	4,573	5,078	5,583	6,088	5,078

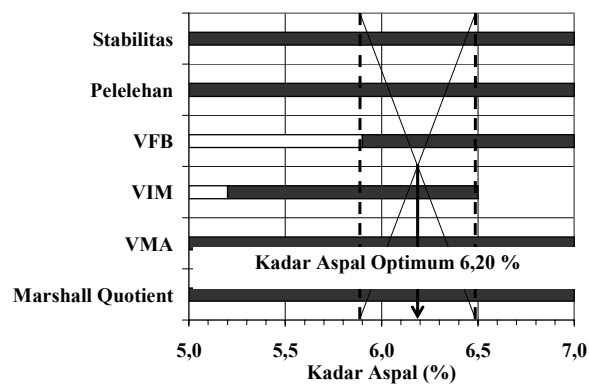
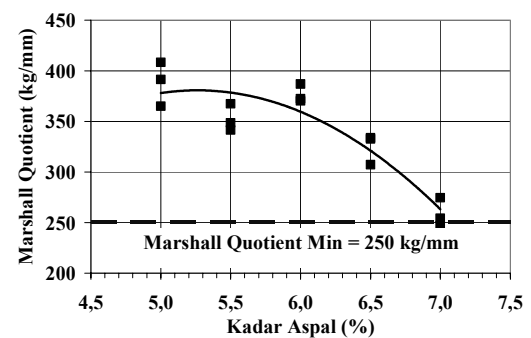
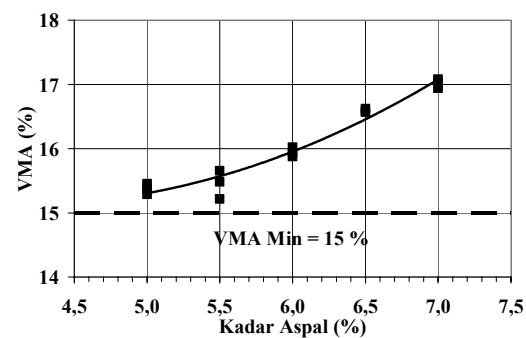
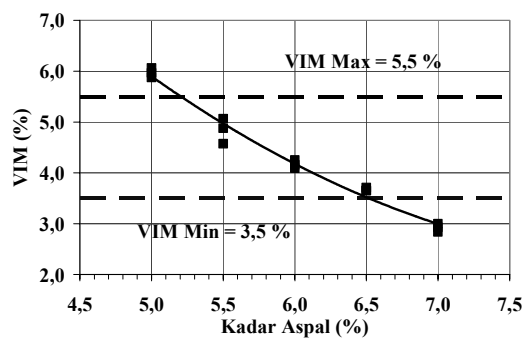
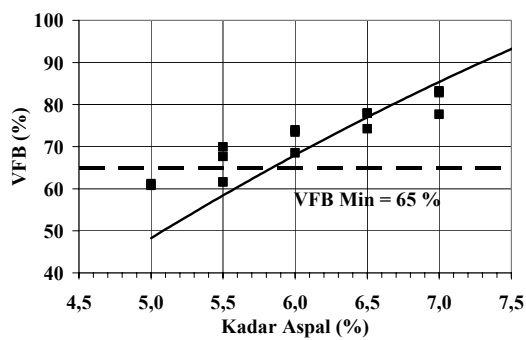
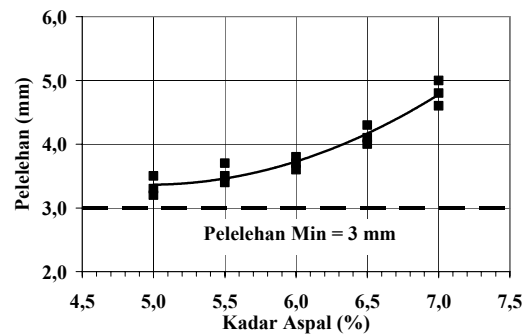
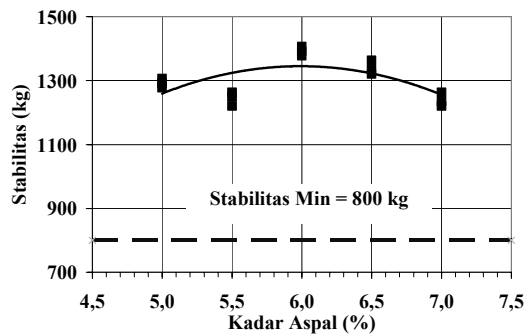
Lampiran 23 Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan 5% Polymer Plastomer Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
		Kering (gr)	SSD (gr)	Dalam Air (gr)		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	5,0	1.157,8	1.163,4	674,1	489,3	2,37	2,52	15,5	6,1	60,8	90	1,09	1.292,0	3,3	391,5	4,1
2	5,0	1.159,9	1.164,0	674,3	489,7	2,37	2,52	15,4	6,0	61,2	89	1,09	1.277,6	3,5	365,0	4,7
3	5,0	1.166,7	1.172,4	680,3	492,1	2,37	2,52	15,3	5,9	61,6	91	1,09	1.306,3	3,2	408,2	4,7
Rata-rata					490,4	2,37	2,52	15,4	6,0	61,2			1.292,0	3,3	388,3	4,5
1	5,5	1.168,5	1.172,0	679,6	492,4	2,37	2,50	15,7	5,1	67,6	88	1,09	1.263,3	3,7	341,4	4,6
2	5,5	1.169,8	1.173,0	682,6	490,4	2,39	2,50	15,2	4,6	69,9	85	1,09	1.220,2	3,5	348,6	4,6
3	5,5	1.169,9	1.173,3	681,3	492,0	2,38	2,50	15,5	4,9	68,5	87	1,09	1.248,9	3,4	367,3	4,6
Rata-rata					491,6	2,38	2,50	15,5	4,8	68,7			1.244,1	3,5	352,5	4,6
1	6,0	1.172,7	1.176,7	683,5	493,2	2,38	2,48	15,9	4,2	73,9	98	1,09	1.406,8	3,8	370,2	5,1
2	6,0	1.173,4	1.177,7	683,7	494,0	2,38	2,48	16,0	4,3	73,5	96	1,09	1.378,1	3,7	372,5	5,1
3	6,0	1.171,6	1.175,7	683,3	492,4	2,38	2,48	15,9	4,1	74,2	97	1,09	1.392,5	3,6	386,8	5,1
Rata-rata					493,2	2,38	2,48	15,9	4,2	73,9			1.392,5	3,7	376,5	5,1
1	6,5	1.175,2	1.181,3	685,9	495,4	2,37	2,46	16,6	3,7	78,0	93	1,09	1.335,0	4,0	333,8	5,6
2	6,5	1.172,9	1.177,4	683,0	494,4	2,37	2,46	16,6	3,6	78,0	92	1,09	1.320,7	4,3	307,1	5,6
3	6,5	1.174,3	1.179,9	684,6	495,3	2,37	2,46	16,6	3,7	77,7	95	1,09	1.363,8	4,1	332,6	5,6
Rata-rata					495,0	2,37	2,46	16,6	3,7	77,9			1.339,8	4,1	324,5	5,6
1	7,0	1.173,7	1.178,8	684,5	494,3	2,37	2,44	16,9	2,8	83,2	85	1,09	1.220,2	4,8	254,2	6,1
2	7,0	1.173,6	1.177,7	683,0	494,7	2,37	2,44	17,0	2,9	82,8	86	1,09	1.234,6	5,0	246,9	6,1
3	7,0	1.173,2	1.178,2	683,3	494,9	2,37	2,44	17,1	3,0	82,4	88	1,09	1.263,3	4,6	274,6	6,1
Rata-rata					494,6	2,37	2,44	17,0	2,9	82,8			1.239,3	4,8	258,6	6,1

BJ bulk agregat	: 2,659	Bj. efektif agregat	: 2,728	Bj. Aspal	: 1,025	Absorpsi aspal	: 0,981	Bj. maksimum agregat total (Gmm)	: 2,481
-----------------	---------	---------------------	---------	-----------	---------	----------------	---------	----------------------------------	---------

Lampiran 24 Grafik Hubungan Kadar Aspal Yang Telah Ditambah 5% Polymer Plastomer dengan Parameter Marshall



Lampiran 25 Contoh Perhitungan Komposisi Campuran

Contoh perhitungan menggunakan data komposisi campuran beraspal tanpa penambahan polymer elastomer / polymer plastomer untuk menentukan kadar aspal optimum.

1. Kadar aspal optimum perkiraan (P_b) = 6 %
2. Berat jenis aspal (G_b) = 1,030 (Diketahui)
3. Berat jenis bulk agregat kasar ($G_{1..3}$) = 2,675 (Diketahui)
4. Berat jenis apparent agregat kasar ($G_{1..3}$) = 2,766 (Diketahui)
5. Berat jenis bulk agregat halus ($G_{4..9}$) = 2,648 (Diketahui)
6. Berat jenis apparent agregat halus ($G_{4..9}$) = 2,819 (Diketahui)
7. Berat tertahan saringan $\frac{1}{2}$ inch (B_1) = 115 gr (Diketahui)
8. Berat tertahan saringan $\frac{3}{8}$ inch (B_2) = 115 gr (Diketahui)
9. Berat tertahan saringan No. 4 (B_3) = 230 gr (Diketahui)
10. Berat tertahan saringan No. 8 (B_4) = 201,25 gr (Diketahui)
11. Berat tertahan saringan No. 30 (B_5) = 218,5 gr (Diketahui)
12. Berat tertahan saringan No. 50 (B_6) = 63,25 gr (Diketahui)
13. Berat tertahan saringan No. 100 (B_7) = 69 gr (Diketahui)
14. Berat tertahan saringan No. 200 (B_8) = 57,5 gr (Diketahui)
15. Berat lolos saringan No. 200 (Pan) (B_9) = 80,5 gr (Diketahui)
16. Berat total agregat = $\sum_{n=0}^i B_i$
= 1150 gr
17. Persen berat tertahan saringan (P) = $\frac{B_i}{\sum_{n=0}^i B_i}$
 $(100\% - P_b)$

18. Persen berat tertahan saringan $\frac{1}{2}$ inch (P_1)	= 9,40	%
19. Persen berat tertahan saringan $\frac{3}{8}$ inch (P_2)	= 9,40	%
20. Persen berat tertahan saringan No. 4 (P_3)	= 18,80	%
21. Persen berat tertahan saringan No. 8 (P_4)	= 16,45	%
22. Persen berat tertahan saringan No. 30 (P_5)	= 17,86	%
23. Persen berat tertahan saringan No. 50 (P_6)	= 5,170	%
24. Persen berat tertahan saringan No. 100 (P_7)	= 5,64	%
25. Persen berat tertahan saringan No. 200 (P_8)	= 4,70	%
26. Persen berat lolos saringan No. 200 (pan) (P_9)	= 6,58	%

$$27. \text{ Berat Jenis Bulk Agregat Total } (G_{sb}) = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

$$= \frac{9,4 + 9,4 + 18,8 + 16,45 + 17,86 + 5,17 + 5,64 + 4,7 + 6,58}{\frac{9,4}{2,675} + \frac{9,4}{2,675} + \frac{18,8}{2,675} + \frac{16,45}{2,648} + \frac{17,86}{2,648} + \frac{5,17}{2,648} + \frac{5,64}{2,648} + \frac{4,7}{2,648} + \frac{6,58}{2,648}}$$

$$= 2,659$$

$$28. \text{ Berat Jenis Apparent Agregat Total } (G_{sa}) = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

$$= \frac{9,4 + 9,4 + 18,8 + 16,45 + 17,86 + 5,17 + 5,64 + 4,7 + 6,58}{\frac{9,4}{2,766} + \frac{9,4}{2,766} + \frac{18,8}{2,766} + \frac{16,45}{2,819} + \frac{17,86}{2,819} + \frac{5,17}{2,819} + \frac{5,64}{2,819} + \frac{4,7}{2,819} + \frac{6,58}{2,819}}$$

$$= 2,798$$

$$29. \text{ Berat Jenis Efektif Agregat Total } (G_{se}) = \frac{G_{sa} + G_{se}}{2}$$

$$= \frac{2,659 + 2,798}{2}$$

$$= 2,728$$

$$30. \text{ Berat Jenis Maksimum Agregat Total } (G_{mm}) = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

$$= \frac{100\%}{\frac{94\%}{2,728} + \frac{6\%}{1,03}}$$

$$= 2,483$$

$$31. \text{ Kadar Aspal Terserap } (P_{ba}) = 100 \cdot \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \cdot G_{sb}} \cdot G_b$$

$$= 100 \cdot \frac{2,728 - 2,659}{2,728 \cdot 2,659} \cdot 1,03$$

$$= 0,986 \quad \%$$

$$32. \text{ Kadar Aspal Efektif } (P_{be}) = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \cdot P_s$$

$$= 6 - \frac{0,911}{100} \cdot 94$$

$$= 5,073 \quad \%$$

Lampiran 26 Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan Polymer Elastomer pada Kadar Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Kadar Elastomer (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
			Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	6,30	0	1.180,9	1.183,8	684,7	499,1	2,4	2,5	16,6	4,3	74,3	90	1,04	1.232,7	3,6	342,4	5,4
2	6,30	0	1.183,3	1.185,9	686,6	499,3	2,4	2,5	16,5	4,1	75,1	92	1,04	1.260,1	3,5	360,0	5,4
3	6,30	0	1.183,9	1.186,9	687,0	499,9	2,4	2,5	16,5	4,2	74,8	91	1,04	1.246,4	3,8	328,0	5,4
Rata-rata						499,4	2,4	2,5	16,5	4,2	74,7			1.246,4	3,6	343,5	5,4
1	6,10	1	1.218,2	1.221,0	705,9	515,1	2,4	2,5	16,5	4,6	72,1	107	1,00	1.409,2	3,7	380,9	5,2
2	6,10	1	1.220,9	1.224,0	708,2	515,8	2,4	2,5	16,4	4,5	72,5	108	1,00	1.422,4	4,2	338,7	5,2
3	6,10	1	1.205,5	1.208,4	699,2	509,2	2,4	2,5	16,4	4,5	72,6	109	1,00	1.435,5	4,1	350,1	5,2
Rata-rata						513,4	2,4	2,5	16,4	4,5	72,4			1.422,4	4,0	356,5	5,2
1	6,25	3	1.199,8	1.203,3	696,3	507,0	2,4	2,5	16,6	4,3	73,9	110	1,04	1.506,6	4,3	350,4	5,3
2	6,25	3	1.205,6	1.209,0	699,3	509,7	2,4	2,5	16,6	4,4	73,7	112	1,00	1.475,0	4,0	368,8	5,3
3	6,25	3	1.200,5	1.204,0	696,8	507,2	2,4	2,5	16,5	4,3	74,0	111	1,04	1.520,3	3,9	389,8	5,3
Rata-rata						508,0	2,4	2,5	16,6	4,3	73,9			1.500,7	4,1	369,7	5,3
1	6,15	5	1.200,3	1.203,6	696,5	507,1	2,4	2,5	16,4	4,4	73,0	116	1,04	1.588,8	4,5	353,1	5,2
2	6,15	5	1.201,6	1.204,5	696,8	507,7	2,4	2,5	16,5	4,5	73,0	117	1,04	1.602,5	3,5	457,9	5,2
3	6,15	5	1.200,2	1.203,4	696,1	507,3	2,4	2,5	16,5	4,5	72,8	119	1,04	1.629,9	4,4	370,4	5,2
Rata-rata						507,4	2,4	2,5	16,5	4,5	72,9			1.607,1	4,1	393,8	5,2

BJ bulk agregat : 2,659	Bj. efektif agregat : 2,728	Bj. aspal : 1,030	Absorpsi aspal : 0,986	Bj. maksimum agregat total (Gmm) : 2,483
-------------------------	-----------------------------	-------------------	------------------------	--

Lampiran 27 Hasil Pengujian Perendaman Marshall dengan Penambahan Polymer Elastomer pada Kadar Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Kadar Elastomer (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
			Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	6,30	0	1.196,8	1.199,7	695,2	504,5	2,4	2,5	16,4	4,0	75,5	77	1,04	1.054,7	3,9	270,4	5,4
2	6,30	0	1.199,3	1.201,8	697,2	504,6	2,4	2,5	16,2	3,8	76,4	79	1,04	1.082,0	4,0	270,5	5,4
3	6,30	0	1.199,9	1.202,7	697,4	505,3	2,4	2,5	16,3	3,9	76,0	78	1,04	1.068,4	3,7	288,7	5,4
Rata-rata						504,8	2,4	2,5	16,3	3,9	76,0			1.068,4	3,9	276,6	5,4
1	6,10	1	1.205,0	1.207,7	700,2	507,5	2,4	2,5	16,1	4,2	73,9	90	1,04	1.232,7	4,1	300,7	5,2
2	6,10	1	1.207,1	1.210,1	702,2	507,9	2,4	2,5	16,1	4,1	74,3	91	1,04	1.246,4	4,2	296,8	5,2
3	6,10	1	1.201,0	1.203,8	698,3	505,5	2,4	2,5	16,1	4,2	74,2	92	1,04	1.260,1	4,6	273,9	5,2
Rata-rata						507,0	2,4	2,5	16,1	4,2	74,1			1.246,4	4,3	290,5	5,2
1	6,25	3	1.215,9	1.219,5	707,2	512,3	2,4	2,5	16,3	4,0	75,2	105	1,00	1.382,9	4,5	307,3	5,3
2	6,25	3	1.216,5	1.219,9	707,2	512,7	2,4	2,5	16,3	4,1	75,1	102	1,00	1.343,3	4,3	312,4	5,3
3	6,25	3	1.214,9	1.218,5	706,7	511,8	2,4	2,5	16,3	4,0	75,3	106	1,00	1.396,0	4,0	349,0	5,3
Rata-rata						512,3	2,4	2,5	16,3	4,0	75,2			1.374,1	4,3	322,9	5,3
1	6,15	5	1.218,9	1.222,5	708,9	513,6	2,4	2,5	16,2	4,2	74,2	112	1,00	1.475,0	3,9	378,2	5,2
2	6,15	5	1.219,1	1.222,2	708,5	513,7	2,4	2,5	16,2	4,2	74,2	113	1,00	1.488,2	4,4	338,2	5,2
3	6,15	5	1.203,7	1.207,2	700,1	507,1	2,4	2,5	16,2	4,2	74,3	110	1,04	1.506,6	4,6	327,5	5,2
Rata-rata						511,5	2,4	2,5	16,2	4,2	74,2			1.490,0	4,3	348,0	5,2

BJ bulk agregat	: 2,659	Bj. efektif agregat	: 2,728	Bj. aspal	: 1,030	Absorpsi aspal	: 0,986	Bj. maksimum agregat total (Gmm)	: 2,483
-----------------	---------	---------------------	---------	-----------	---------	----------------	---------	----------------------------------	---------

Lampiran 28 Hasil Pengujian Marshall dengan Penambahan Polymer Plastomer pada Kadar Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Kadar Plastomer (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
			Kering	SSD	Dalam Air		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	6,30	0	1.180,9	1.183,8	684,7	499,1	2,4	2,5	16,6	4,3	74,3	90	1,04	1.232,7	3,6	342,4	5,4
2	6,30	0	1.183,3	1.185,9	686,6	499,3	2,4	2,5	16,5	4,1	75,1	92	1,04	1.260,1	3,5	360,0	5,4
3	6,30	0	1.183,9	1.186,9	687,0	499,9	2,4	2,5	16,5	4,2	74,8	91	1,04	1.246,4	3,8	328,0	5,4
Rata-rata						499,4	2,4	2,5	16,5	4,2	74,7			1.246,4	3,6	343,5	5,4
1	6,20	1	1.189,2	1.191,2	689,0	502,2	2,4	2,5	16,5	4,3	73,7	100	1,04	1.369,7	4,1	334,1	5,3
2	6,20	1	1.191,2	1.193,2	690,6	502,6	2,4	2,5	16,4	4,2	74,1	103	1,04	1.410,8	4,5	313,5	5,3
3	6,20	1	1.185,5	1.187,5	687,3	500,2	2,4	2,5	16,4	4,2	74,1	102	1,04	1.397,1	3,6	388,1	5,3
Rata-rata						501,7	2,4	2,5	16,4	4,3	74,0			1.392,5	4,1	345,2	5,3
1	6,15	3	1.202,1	1.203,2	696,0	507,2	2,4	2,5	16,3	4,3	73,6	108	1,04	1.479,3	3,8	389,3	5,2
2	6,15	3	1.200,4	1.202,9	695,4	507,5	2,4	2,5	16,5	4,5	72,7	111	1,04	1.520,3	4,2	362,0	5,2
3	6,15	3	1.199,3	1.202,1	695,3	506,8	2,4	2,5	16,5	4,5	72,9	110	1,04	1.506,6	4,1	367,5	5,2
Rata-rata						507,2	2,4	2,5	16,4	4,4	73,1			1.502,1	4,0	372,9	5,2
1	6,20	5	1.202,8	1.205,8	697,3	508,5	2,4	2,5	16,5	4,4	73,2	116	1,00	1.527,7	4,2	363,7	5,3
2	6,20	5	1.202,9	1.205,2	696,7	508,5	2,4	2,5	16,5	4,4	73,2	115	1,00	1.514,6	3,5	432,7	5,3
3	6,20	5	1.187,9	1.190,8	688,7	502,1	2,4	2,5	16,5	4,4	73,3	112	1,04	1.534,0	3,8	403,7	5,3
Rata-rata						506,4	2,4	2,5	16,5	4,4	73,2			1.525,4	3,8	400,1	5,3

BJ bulk agregat	: 2,659	Bj. efektif agregat	: 2,728	Bj. aspal	: 1,030	Absorpsi aspal	: 0,986	Bj. maksimum agregat total (Gmm)	: 2,483
-----------------	---------	---------------------	---------	-----------	---------	----------------	---------	----------------------------------	---------

Lampiran 29 Hasil Pengujian Perendaman Marshall dengan Penambahan Polymer Plastomer pada Kadar Optimum

Kalibrasi Proving Ring : 13,170 kg/div

No Benda Uji	Kadar Aspal Terhadap Campuran (%)	Kadar Plastomer (%)	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji (gr)	Berat Jenis Campuran		VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Pembacaan Stabilitas (div)	Koreksi	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)
			Kering (gr)	SSD (gr)	Dalam Air (gr)		Padat (Bulk)	Maksimum Teoritis									
1	6,30	0	1.196,8	1.199,7	695,2	504,5	2,4	2,5	16,4	4,0	75,5	77	1,04	1.054,7	3,9	270,4	5,4
2	6,30	0	1.199,3	1.201,8	697,2	504,6	2,4	2,5	16,2	3,8	76,4	79	1,04	1.082,0	4,0	270,5	5,4
3	6,30	0	1.199,9	1.202,7	697,4	505,3	2,4	2,5	16,3	3,9	76,0	78	1,04	1.068,4	3,7	288,7	5,4
Rata-rata						504,8	2,4	2,5	16,3	3,9	76,0			1.068,4	3,9	276,6	5,4
1	6,20	1	1.235,3	1.237,8	717,0	520,8	2,4	2,5	16,3	4,2	74,4	90	1,00	1.185,3	4,3	275,7	5,3
2	6,20	1	1.238,0	1.240,8	719,4	521,4	2,4	2,5	16,2	4,1	74,9	93	1,00	1.224,8	4,6	266,3	5,3
3	6,20	1	1.222,4	1.225,0	710,2	514,8	2,4	2,5	16,2	4,1	74,9	92	1,00	1.211,6	3,6	336,6	5,3
Rata-rata						519,0	2,4	2,5	16,3	4,1	74,8			1.207,3	4,2	292,8	5,3
1	6,15	3	1.216,9	1.220,3	707,5	512,8	2,4	2,5	16,2	4,2	74,2	102	1,00	1.343,3	4,3	312,4	5,2
2	6,15	3	1.222,4	1.225,5	710,2	515,3	2,4	2,5	16,3	4,2	74,0	104	1,00	1.369,7	4,4	311,3	5,2
3	6,15	3	1.217,6	1.220,9	707,8	513,1	2,4	2,5	16,2	4,2	74,1	103	1,00	1.356,5	4,6	294,9	5,2
Rata-rata						513,7	2,4	2,5	16,2	4,2	74,1			1.356,5	4,4	306,2	5,2
1	6,20	5	1.216,9	1.220,3	707,4	512,9	2,4	2,5	16,3	4,1	74,6	106	1,00	1.396,0	4,5	310,2	5,3
2	6,20	5	1.218,1	1.221,1	707,6	513,5	2,4	2,5	16,3	4,2	74,5	105	1,00	1.382,9	4,4	314,3	5,3
3	6,20	5	1.216,8	1.220,1	706,9	513,2	2,4	2,5	16,4	4,2	74,3	107	1,00	1.409,2	3,7	380,9	5,3
Rata-rata						513,2	2,4	2,5	16,3	4,2	74,4			1.396,0	4,2	335,1	5,3

BJ bulk agregat : 2,659	Bj. efektif agregat : 2,728	Bj. Aspal : 1,030	Absorpsi aspal : 0,986	Bj. maksimum agregat total (Gmm) : 2,483
-------------------------	-----------------------------	-------------------	------------------------	--

Lampiran 30 Contoh Perhitungan Marshall

Contoh perhitungan menggunakan data hasil pengujian Marshall untuk benda uji

No. 1 tanpa penambahan polymer elastomer / plastomer:

1. Berat jenis bulk agregat = 2,659 (Diketahui)
2. Berat jenis eff. agregat = 2,728 (Diketahui)
3. Berat jenis aspal = 1,030 (Diketahui)
4. Kalibrasi proving ring = 13,17 kg/div (Diketahui)
5. Kadar aspal = 6,30 %
6. Berat benda uji kering = 1.152,3 gr (Diketahui)
7. Berat benda uji SSD = 1.159,1 gr (Diketahui)
8. Berat benda uji dalam air = 692,2 gr (Diketahui)
9. Berat jenis air (γ_{air}) = 1 gr/cm³ (Diketahui)
10. Isi benda uji =
$$\frac{(\text{Berat benda uji SSD} - \text{Berat benda uji dalam air})}{\gamma_{air}}$$

$$= \frac{(1.159,1 - 1.152,3)}{1}$$

$$= 489,9 \text{ cm}^3$$
11. Berat jenis camp. padat =
$$\frac{\text{Berat benda uji kering}}{\text{Isi benda uji}}$$

$$= \frac{1.152,3}{489,9}$$

$$= 2,4$$
12. Berat jenis camp. maks =
$$= \frac{100}{\frac{100 - \text{Kadar aspal}}{\text{Berat jenis eff. agregat}} + \frac{\text{Kadar aspal}}{\text{Berat jenis aspal}}}$$

$$= \frac{100}{\frac{100 - 6,30}{2.728} + \frac{6,30}{1.030}}$$

$$= 2,5$$

$$13. \text{ VMA} = 100 - (100 - \text{Kadar aspal}) \cdot \frac{\text{Berat jenis camp. padat}}{\text{Berat jenis bulk agregat}}$$

$$= 100 - (100 - 6,28) \cdot \frac{2,4}{2,659}$$

$$= 16,0\%$$

$$14. \text{ VIM} = 100 - 100 \cdot \frac{\text{Berat jenis camp. padat}}{\text{Berat jenis camp. maks}}$$

$$= 100 - 100 \cdot \frac{2,4}{2,5}$$

$$= 6,7 \%$$

$$15. \text{ VFB} = 100 \cdot \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}}$$

$$= 100 \cdot \frac{16,6 - 4,3}{16,6}$$

$$= 58,2 \%$$

$$16. \text{ Pembacaan stabilitas} = 78 \quad \text{div} \quad (\text{Diketahui})$$

$$17. \text{ Koreksi} = 1,09 \quad (\text{Tabel Koreksi Volume})$$

$$18. \text{ Stabilitas terkoreksi} = \text{Pembacaan stabilitas} \cdot \text{Koreksi} \cdot \text{Kalibrasi proving ring}$$

$$= 78 \cdot 1,09 \cdot 13,17$$

$$= 1.119,7 \quad \text{kg}$$

$$19. \text{ Pelelehan} = 3,1 \text{ mm} \quad (\text{Diketahui})$$

$$20. \text{ Marshall Quotient} = \frac{\text{Stabilitas terkoreksi}}{\text{Pelelehan}}$$

$$= \frac{1.119,7}{3,1}$$

$$= 361,2 \quad \text{kg/mm}$$

$$21. \text{ Kadar Aspal Efektif} = \text{Kadar aspal} - \text{Absorpsi aspal} \bullet \frac{100 - \text{Kadar aspal}}{100}$$

$$= 6,30 - 0,986 \bullet \frac{100 - 6,28}{100}$$

$$= 4,1 \quad \%$$

Lampiran 31 Contoh Perhitungan Analisis Statistik Menggunakan Metode

Analysis of Variance (ANOVA)

Contoh perhitungan menggunakan data hasil uji Marshall untuk stabilitas.

Diketahui data hasil uji Marshall untuk stabilitas:

Benda Uji	% Penambahan Polymer Elastomer Terhadap Aspal			
	0%	1%	3%	5%
1	1.054,7	1.232,7	1.382,9	1.475,0
2	1.082,0	1.246,4	1.343,3	1.488,2
3	1.068,4	1.260,1	1.396,0	1.506,6

$$1. \text{Count } (n_{0\%-5\%}) = \text{Jumlah data setiap group}$$

$$= 3$$

$$2. \text{Sum } (T_{0\%}) = X_1 + X_2 + X_3$$

$$= 1.054,7 + 1.082,0 + 1.068,4$$

$$= 3.205,1$$

$$(T_{1\%}) = 3.739,2$$

$$(T_{3\%}) = 4.122,2$$

$$(T_{5\%}) = 4.469,9$$

$$3. \text{Average } (\bar{Y}_{1\%}) = \frac{T}{n}$$

$$= \frac{3.205,1}{3}$$

$$= 1.068,4$$

$$\bar{Y}_{1\%} = 1.246,4$$

$$\bar{Y}_{3\%} = 1.374,1$$

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{5\%} &= 1.490,0 \\ 4. T &= \sum_{i=1}^{n_j} T_j \\ &= 3.205,1 + 3.739,2 + 4.122,2 + 4.469,9 \\ &= 15.536,4 \\ 5. N &= n \cdot \text{group} \\ &= 3 \cdot 4 \\ &= 12 \\ 6. \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 &= X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 \\ \sum X_{0\%} &= 3.424.492,9 \\ \sum X_{1\%} &= 4.660.979,9 \\ \sum X_{3\%} &= 5.665.708,3 \\ \sum X_{5\%} &= 6.660.500,2 \\ 7. \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 &= 20.411.681,4 \\ 8. SS_{\text{total}} &= \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \\ &= 20.411.681,4 - \frac{15.536,4^2}{12} \\ &= 296.741,6 \\ 9. SS_{\text{BETWEEN}} &= \sum_{j=1}^k \frac{T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N} \end{aligned}$$

$$= \left(\frac{3.205,1^2}{3} + \frac{3.739,2^2}{3} + \frac{4.122,2^2}{3} + \frac{4.469,9^2}{3} + \frac{3.711,123^2}{3} \right) - \frac{15.536,4^2}{12}$$

$$= 293.983,8$$

$$10. SS_{\text{within group}} = SS_{\text{total}} - SS_{\text{BETWEEN group}}$$

$$= 296.741,6 - 293.983,8$$

$$= 2.757,8$$

$$11. df_{\text{total}} = N - 1$$

$$= 12 - 1$$

$$= 11$$

$$12. df_{\text{between groups}} = n_{\text{group}} - 1$$

$$= 4 - 1$$

$$= 3$$

$$13. df_{\text{within group}} = df_{\text{total}} - df_{\text{between groups}}$$

$$= 11 - 3$$

$$= 8$$

$$14. MS_{\text{between group}} = \frac{SS_{\text{between group}}}{df_{\text{between group}}}$$

$$= \frac{293.983,8}{3}$$

$$= 97.994,6$$

$$15. MS_{\text{within group}} = \frac{SS_{\text{within group}}}{df_{\text{within group}}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2.757,8}{8} \\ &= 344,7 \\ 16. F &= \frac{MS_{\text{between group}}}{MS_{\text{within group}}} \\ &= \frac{97.994,6}{344,7} \\ &= 284,3 \\ 17. F_{\text{crit}} &= 4,066 \quad (\text{Dari tabel Distribusi F}) \end{aligned}$$

**Lampiran 32 Contoh Perhitungan Analisis Statistik Menggunakan Metode
*Student-Newman-Keuls***

Contoh perhitungan menggunakan hasil *analysis of variance* untuk stabilitas.

Diketahui data hasil *analysis of variance* untuk stabilitas :

Groups	Count	Sum	Average	Variance
0%	3	3.205,1	1.068,4	187,6
1%	3	3.739,2	1.246,4	187,6
3%	3	4.122,2	1.374,1	751,6
5%	3	4.469,9	1.490,0	252,1

Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	293.983,8	3	97.994,6	284,3	1,83E-08	4,066
Within Groups	2.757,8	8	344,7			
Total	296.741,6	11				

1. Data rata-rata diurutkan dari yang terkecil hingga yang terbesar kecuali untuk rata-rata pembanding.

Groups	1%	3%	5%
Average	1.246,4	1.374,1	1.490,0

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Standard Error Mean (S)} &= \sqrt{\frac{MS_{\text{within groups}}}{n}} \\
 &= \sqrt{\frac{344,7}{3}} \\
 &= 10,7
 \end{aligned}$$

3. Wilayah Nyata Student (Dari Tabel Upper Percentage of Studentized Range)

$$a \quad p = 2 \quad \text{dan} \quad df_{\text{within groups}} = 8 \quad \rightarrow \quad wp = 3,26$$

$$b \quad p = 3 \quad \text{dan} \quad df_{\text{within groups}} = 8 \quad \rightarrow \quad wp = 4,04$$

$$c \quad p = 4 \quad \text{dan} \quad df_{\text{within groups}} = 8 \quad \rightarrow \quad w_p = 4,53$$

4. Wilayah Nyata Terpendek (W_p)

$$= w_p \cdot S$$

$$a \quad p = 2 \quad \rightarrow \quad W_p = 3,03 \cdot 10,7$$

$$= 32,4$$

$$b \quad p = 3 \quad \rightarrow \quad W_p = 4,04 \cdot 10,7$$

$$= 43,2$$

$$c \quad p = 4 \quad \rightarrow \quad W_p = 4,53 \cdot 10,7$$

$$= 48,5$$

$$5. \quad \text{Wilayah}_{i-j} = Y_j - Y_i$$

$$= 178$$

6. Kesimpulan diperoleh dengan membandingkan nilai Wilayah dengan Wilayah Nyata Terpendek (W_p). Jika $\text{Wilayah} > W_p$, menunjukkan nilai yang dibandingkan berbeda nyata dengan nilai pembanding dan jika $\text{Wilayah} < W_p$, menunjukkan nilai yang dibandingkan perbedaannya tidak nyata dengan nilai pembanding.

Lampiran 33 Koreksi Stabilitas Marshall

Volume Benda Uji (mm ³)	Tinggi Benda Uji		Koreksi Stabilitas Marshall
	Inci	mm	
202 – 213	1	25,40	5,56
214 – 225	1 1/6	29,63	5,00
226 – 237	1 1/8	28,58	4,55
238 – 250	1 3/16	30,16	4,17
251 – 264	1 ¼	31,75	3,86
265 – 276	1 5/16	33,34	3,57
277 – 289	1 3/8	34,93	3,33
290 – 301	1 7/16	36,51	3,03
302 – 316	1 ½	38,10	2,78
317 – 328	1 9/16	39,69	2,50
329 – 340	1 5/8	41,28	2,27
341 – 353	1 11/16	42,86	2,08
354 – 367	1 ¾	44,45	1,92
368 – 379	1 13/16	46,04	1,79
380 – 392	1 7/8	47,63	1,67
393 – 405	1 15/16	49,21	1,56
406 – 420	2	50,80	1,47
421 – 431	2 1/6	55,03	1,39
432 – 443	2 1/8	53,98	1,32
444 – 456	2 3/16	55,56	1,25
457 – 470	2 ¼	57,15	1,19
471 – 482	2 5/16	58,74	1,14
483 – 495	2 3/8	60,33	1,09
496 – 508	2 7/16	61,91	1,04
509 – 522	2 1/2	63,50	1,00
523 – 535	2 9/16	65,09	0,96
536 – 546	2 5/8	66,68	0,93
547 – 559	2 11/16	68,26	0,89
560 – 573	2 3/4	69,85	0,86
574 – 585	2 13/16	71,44	0,83
586 – 598	2 7/8	73,03	0,81
599 – 610	2 15/16	74,61	0,78
611 – 625	3	76,20	0,76

Lampiran 34 Tabel Upper 5% Point of Studentized Range

Denominator <i>df</i>	α	Number of Treatment Means p																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	0,05	3,64	4,60	5,22	5,67	6,03	6,33	6,58	6,80	6,99	7,17	7,32	7,47	7,60	7,72	7,83	7,93	8,03	8,12	8,21
	0,01	5,70	6,97	7,00	8,42	8,91	9,32	9,67	9,97	10,24	10,48	10,70	10,89	11,08	11,24	11,40	11,55	11,68	11,81	11,93
6	0,05	3,46	4,34	4,90	5,31	5,63	5,89	6,12	6,32	6,49	6,65	6,79	6,92	7,03	7,14	7,24	7,34	7,43	7,51	7,59
	0,01	5,24	6,33	7,03	7,56	7,97	8,32	8,61	8,87	9,10	9,30	9,49	9,65	9,81	9,95	10,08	10,21	10,32	10,43	10,54
7	0,05	3,34	4,16	4,68	5,06	5,36	5,61	5,82	6,00	6,16	6,30	6,43	6,55	6,66	6,76	6,85	6,94	7,02	7,09	7,17
	0,01	4,95	5,92	6,54	7,01	7,37	7,68	7,94	8,17	8,37	8,55	8,71	8,86	9,00	9,12	9,24	9,35	9,46	9,55	9,65
8	0,05	3,26	4,04	4,53	4,89	5,17	5,40	5,60	5,77	5,92	6,05	6,18	6,29	6,39	6,48	6,57	6,65	6,73	6,80	6,87
	0,01	4,74	5,63	6,20	6,63	6,96	7,24	7,47	7,68	7,87	8,03	8,18	8,31	8,44	8,55	8,66	8,76	8,85	8,94	9,03
9	0,05	3,20	3,95	4,42	4,76	5,02	5,24	5,43	5,60	5,74	5,87	5,98	6,09	6,19	6,28	6,36	6,44	6,51	6,58	6,64
	0,01	4,60	5,43	5,96	6,35	6,66	6,91	7,13	7,32	7,49	7,65	7,78	7,91	8,03	8,13	8,23	8,32	8,41	8,49	8,57
10	0,05	3,15	3,88	4,33	4,65	4,91	5,12	5,30	5,46	5,60	5,72	5,83	5,93	6,03	6,11	6,20	6,27	6,34	6,40	6,47
	0,01	4,48	5,27	5,77	6,14	6,43	6,67	6,87	7,05	7,21	7,36	7,48	7,60	7,71	7,81	7,91	7,99	8,07	8,15	8,22
11	0,05	3,11	3,62	4,26	4,57	4,82	5,03	5,20	5,35	5,49	5,61	5,71	5,81	5,90	5,99	6,06	6,14	6,20	6,26	6,33
	0,01	4,39	5,14	5,62	5,97	6,25	6,48	6,67	6,84	6,99	7,13	7,25	7,36	7,46	7,56	7,65	7,73	7,81	7,88	7,95
12	0,05	3,08	3,77	4,20	4,51	4,75	4,95	5,12	5,27	5,40	5,51	5,62	5,71	5,80	5,88	5,95	6,03	6,09	6,15	6,21
	0,01	4,32	5,04	5,50	5,84	6,10	6,32	6,51	6,67	6,81	6,94	7,06	7,17	7,26	7,36	7,44	7,52	7,59	7,66	7,73
13	0,05	3,06	3,73	4,15	4,45	4,69	4,88	5,05	5,19	5,32	5,43	5,53	5,63	5,71	5,79	5,86	5,93	6,00	6,05	6,11
	0,01	4,26	4,96	5,40	5,73	5,98	6,19	6,37	6,53	6,67	6,79	6,90	7,01	7,10	7,19	7,27	7,34	7,42	7,48	7,55
14	0,05	3,03	3,70	4,11	4,41	4,64	4,83	4,99	5,13	5,25	5,36	5,46	5,55	5,64	5,72	5,79	5,85	5,92	5,97	6,03
	0,01	4,21	4,89	5,32	5,63	5,88	6,08	6,26	6,41	6,54	6,66	6,77	6,87	6,96	7,05	7,12	7,20	7,27	7,33	7,39
15	0,05	3,01	3,67	4,08	4,37	4,60	4,78	4,94	5,08	5,20	5,31	5,40	5,49	5,58	5,65	5,72	5,79	5,85	5,90	5,96
	0,01	4,17	4,83	5,25	5,56	5,80	5,99	6,16	6,31	6,44	6,55	6,66	6,76	6,84	6,93	7,00	7,07	7,14	7,20	7,26
16	0,05	3,00	3,65	4,05	4,33	4,56	4,74	4,90	5,03	5,15	5,26	5,35	5,44	5,52	5,59	5,66	5,72	5,79	5,84	5,90
	0,01	4,13	4,78	5,19	5,49	5,72	5,92	6,08	6,22	6,35	6,46	6,56	6,66	6,74	6,82	6,90	6,97	7,03	7,09	7,15
17	0,05	2,98	3,63	4,02	4,30	4,52	4,71	4,86	4,99	5,11	5,21	5,31	5,39	5,47	5,55	5,61	5,68	5,74	5,79	5,84
	0,01	4,10	4,74	5,14	5,43	5,66	5,85	6,01	6,15	6,27	6,38	6,48	6,57	6,66	6,73	6,80	6,87	6,94	7,00	7,05
18	0,05	2,97	3,61	4,00	4,28	4,49	4,67	4,82	4,96	5,07	5,17	5,27	5,35	5,43	5,50	5,57	5,63	5,69	5,74	5,79
	0,01	4,07	4,70	5,09	5,38	5,60	5,79	5,94	6,08	6,20	6,31	6,41	6,50	6,58	6,65	6,72	6,79	6,85	6,91	6,96
19	0,05	2,96	3,59	3,98	4,25	4,47	4,65	4,79	4,92	5,04	5,14	5,23	5,32	5,39	5,46	5,53	5,59	5,67	5,70	5,75
	0,01	4,05	4,67	5,05	5,33	5,55	5,73	5,89	6,02	6,14	6,25	6,34	6,43	6,51	6,58	6,65	6,72	6,78	6,84	6,89
20	0,05	2,95	3,58	3,96	4,23	4,45	4,62	4,77	4,90	5,01	5,11	5,20	5,28	5,36	5,43	5,49	5,55	5,61	5,66	5,71
	0,01	4,02	4,64	5,02	5,29	5,51	5,69	5,84	5,97	6,09	6,19	6,29	6,37	6,45	6,52	6,59	6,65	6,71	6,76	6,82
24	0,05	2,92	3,53	3,90	4,17	4,37	4,54	4,68	4,81	4,92	5,01	5,10	5,18	5,25	5,32	5,38	5,44	5,50	5,54	5,59
	0,01	3,96	4,54	4,91	5,17	5,37	5,54	5,69	5,81	5,92	6,02	6,11	6,19	6,26	6,33	6,39	6,45	6,51	6,56	6,61
30	0,05	2,89	3,49	3,84	4,10	4,30	4,46	4,60	4,72	4,83	4,92	5,00	5,08	5,15	5,21	5,27	5,33	5,38	5,43	5,48
	0,01	3,89	4,45	4,80	5,05	5,24	5,40	5,54	5,65	5,76	5,85	5,93	6,01	6,08	6,14	6,20	6,26	6,31	6,36	6,41
40	0,05	2,86	3,44	3,79	4,04	4,23	4,39	4,52	4,63	4,74	4,82	4,91	4,98	5,05	5,11	5,16	5,22	5,27	5,31	5,36
	0,01	3,82	4,37	4,70	4,93	5,11	5,27	5,39	5,50	5,60	5,69	5,77	5,84	5,90	5,96	6,02	6,07	6,12	6,17	6,21
60	0,05	2,83	3,40	3,74	3,98	4,16	4,31	4,44	4,55	4,65	4,73	4,81	4,80	4,94	5,00	5,06	5,11	5,16	5,20	5,24
	0,01	3,76	4,28	4,60	4,82	4,99	5,13	5,25	5,36	5,45	5,53	5,60	5,67	5,73	5,79	5,84	5,89	5,93	5,98	6,02
120	0,05	2,80	3,36	3,69	3,92	4,10	4,24	4,36	4,48	4,56	4,64	4,72	4,78	4,84	4,90	4,95	5,00	5,05	5,09	5,13
	0,01	3,70	4,20	4,50	4,71	4,87	5,01	5,12	5,21	5,30	5,38	5,44	5,51	5,56	5,61	5,66	5,71	5,75	5,79	5,83
∞	0,05	2,77	3,31	3,63	3,86	4,03	4,17	4,29	4,39	4,47	4,55	4,62	4,68	4,74	4,80	4,85	4,89	4,93	4,97	5,01
	0,01	3,64	4,12	4,40	4,60	4,76	4,88	4,99	5,08	5,16	5,23	5,29	5,33	5,40	5,45	5,49	5,54	5,57	5,61	5,65

