

**PENGARUH SUHU PEMADATAN DAN LAMA PEMERAMAN
TERHADAP KINERJA MARSHALL PADA CAMPURAN CPHMA
MENGUNAKAN ASBUTON B50/30**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



NUR HAMIDAH

NIM. 155060100111003

NUR HILMY DHIYA'UL AZIS

NIM. 155060100111006

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021



LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH SUHU PEMADATAN DAN LAMA PEMERAMAN TERHADAP
KINERJA MARSHALL PADA CAMPURAN CPHMA MENGGUNAKAN
ASBUTON B50/30

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

NUR HAMIDAH
NIM. 155060100111003

NUR HILMY DHIYA'UL AZIS
NIM. 155060100111006

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 22/09/2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Hendi Bowoputro ST., MT.
NIP. 19750910 200012 1 002

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

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya



Dr. Eng. Indradi W., ST., M. Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

LEMBAR IDENTITAS PENGUJI

JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Suhu Pemadatan Dan Lama Pemeraman Terhadap Kinerja *Marshall* Pada Campuran CPHMA Menggunakan Asbuton LGA B50/30.

Nama Mahasiswa : Nur Hamidah

NIM : 155060100111003

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Transportasi

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Hendi Bowoputro ST., MT.

Dosen Penguji II : Prof. Ir. Ludfi Djakfar, MSCE., Ph.D

Dosen Penguji III : Rahayu Kusumaningrum, ST., MT., M.Sc.

Tanggal Ujian : 30 Agustus 2021

SK Penguji : 1744/UN10.F07/KP/2021



LEMBAR IDENTITAS PENGUJI

JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Suhu Pemadatan Dan Lama Pemeraman Terhadap Kinerja *Marshall* Pada Campuran CPHMA Menggunakan Asbuton LGA B50/30.

Nama Mahasiswa : Nur Hilmy Dhiya UI Azis

NIM : 155060100111006

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Transportasi

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Hendi Bowoputro ST., MT.

Dosen Penguji II : Prof. Ir. Ludfi Djakfar, MSCE., Ph.D

Dosen Penguji III : Rahayu Kusumaningrum, ST., MT., M.Sc.

Tanggal Ujian : 30 Agustus 2021

SK Penguji : 1535/UN10.F07/KP/2021



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak berdasarkan karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar Pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 8 Oktober 2021

Mahasiswa



Nur Hamidah

155060100111003

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak berdasarkan karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar Pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 8 Oktober 2021

Mahasiswa



Nur Hilmy Dhiya'UlAzis

155060100111003

DAFTAR ISI

No.	Judul	Halaman
	KATA PENGANTAR.....	i
	DAFTAR ISI.....	ii
	DAFTAR TABEL.....	v
	DAFTAR GAMBAR.....	vi
	DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
	RINGKASAN.....	viii
	BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1	Latar Belakang.....	1
1.2	Identifikasi Masalah.....	2
1.3	Rumusan Masalah.....	2
1.4	Batasan Masalah.....	2
1.5	Tujuan Penelitian.....	3
1.6	Manfaat Penelitian.....	3
	BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1	Perkerasan Jalan Raya.....	5
2.1.1	Konstruksi Perkerasan Jalan Raya.....	5
2.1.2	Konstruksi Perkerasan Lentur.....	6
2.2	Bahan Penyusun Perkerasan Lentur.....	7
2.2.1	Agregat.....	7
2.2.2	Aspal (Bahan Pengikat).....	8
2.2.3	LGA (Lawele Granular Asphalt).....	13
2.2.4	Peremaja.....	14
2.3	Campuran Aspal Panas.....	14
2.4	Campuran Beraspal Panas (<i>hotmix</i>) dengan Asbuton.....	15
2.5	Asbuton Campuran Panas Hampar Dingin (CPHMA).....	17
2.6	Karakteristik <i>Marshall</i>	18
2.6.1	Unit Weight.....	18
2.6.2	Specific Gravity.....	18
2.6.3	VIM (Void In Mix).....	18
2.6.4	VMA (Void In Mineral Aggregate).....	19
2.6.5	VFB (Void Filled Bitumen).....	19
2.6.6	Stabilitas.....	20
2.6.7	Flow.....	20
2.6.8	Marshall Quotient (MQ).....	20
2.7	Analisis Statistik.....	20
2.10	Penelitian Terdahulu.....	22

BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.3 Variabel Benda Uji	26
3.4 Persiapan Bahan Material	26
3.5 Pengujian Material	27
3.6 Rancangan Pembuatan Benda Uji	28
3.6.1 Kriteria Jumlah Benda Uji	28
3.6.2 Kriteria Gradasi Agregat	29
3.6.3 Penyusunan Penelitian	30
3.6.4 Pembuatan Benda Uji	30
3.7 Percobaan Campuran Aspal (<i>Marshall Test</i>)	32
3.8 Analisis Marshall	33
3.9 Analisis Statistik	35
3.9.1 Langkah Pengujian <i>Two Way</i> ANOVA	37
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Pengujian Agregat	39
4.2 Pengujian Aspal Buton (LGA)	39
4.3 Pembuatan Benda Uji	40
4.4 Pengujian Marshall	40
4.4.1 Hasil Pengujian Stabilitas	41
4.4.2 Hasil Pengujian Flow	43
4.4.4 Hasil Pengujian VIM	44
4.4.5 Hasil Pengujian VMA	46
4.4.6 Hasil Pengujian VFB	48
4.4.7 Variasi yang Memenuhi Spesifikasi	50
4.5 Pengujian Hipotesis Statistik ANOVA Dua Arah	50
4.5.1 Pengujian Normalitas Standardized Residual	50
4.5.2 Pengujian Anova Two Way Akibat Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap Variabel Bebas	51
4.5.3 Hasil Analisis Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap Stabilitas	52
4.5.4 Hasil Analisis Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap Flow	54
4.5.5 Hasil Analisis Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai MQ	56
4.5.6 Hasil Analisis Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai VMA	57
4.5.7 Hasil Analisis Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai VFB	59
4.5.8 Hasil Analisis Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai VIM	60
4.6 Uji Korelasi	62

4.7	Pembahasan	63
BAB V PENUTUP		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	67
Daftar Pustaka		69

LAMPIRAN



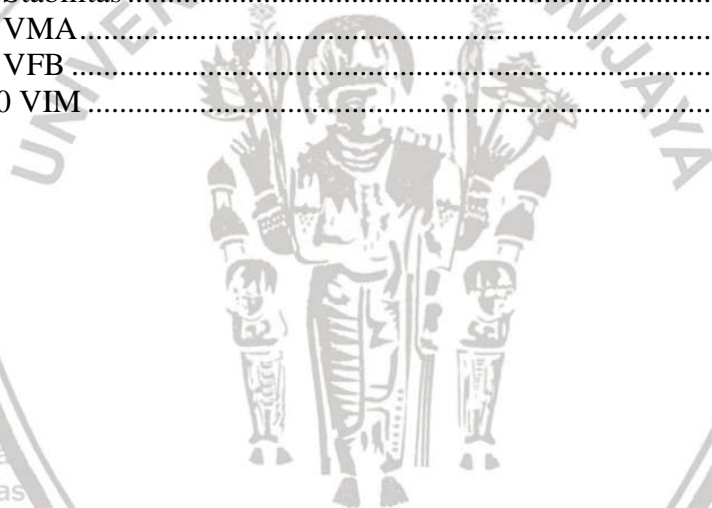
DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Ketentuan Agregat Kasar	7
Tabel 2.2	Ketentuan Agregat Halus	8
Tabel 2.3	Persyaratan Asbuton Butir	13
Tabel 2.4	Persyaratan Gradasi Agregat Gabungan	16
Tabel 2.5	Gradasi Gabungan Agregat CPHMA Hasil Ekstraksi	17
Tabel 2.6	Karakteristik Bitumen Hasil Ekstraksi CPHMA	17
Tabel 2.7	Persyaratan CPHMA Padat pada Spesifikasi Khusus Interm CPHMA	17
Tabel 3.1	Perencanaan Benda Uji dengan Asbuton B50/30	28
Tabel 3.2	Persyaratan Gradasi Asbuton pada CPHMA	29
Tabel 3.3	Gradasi Mineral Asbuton Hasil Ekstraksi	29
Tabel 3.4	Persiapan Benda Uji	30
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	39
Tabel 4.2	Karakteristik LGA	40
Tabel 4.3	Hasil Ekstraksi Bitumen LGA	40
Tabel 4.4	Jumlah Benda Uji	40
Tabel 4.5	Rekapitulasi Stabilitas Benda Uji Setiap Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	41
Tabel 4.6	Nilai Stabilitas Rata-Rata	41
Tabel 4.7	Rekapitulasi Flow Setiap Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	43
Tabel 4.8	Nilai Flow Rata-Rata	43
Tabel 4.9	Rekapitulasi Nilai VIM Setiap Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	44
Tabel 4.10	Nilai VIM Rata-Rata	45
Tabel 4.11	Rekapitulasi VMA Setiap Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	46
Tabel 4.12	Nilai VMA Rata-Rata	47
Tabel 4.13	Rekapitulasi VFB Setiap Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	48
Tabel 4.14	Nilai VFB Rata-Rata	49
Tabel 4.15	Tabel Uji Normalitas Standardized Residual	50
Tabel 4.16	Notasi Setiap Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	52
Tabel 4.17	Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel Stabilitas	52
Tabel 4.18	Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Stabilitas	53
Tabel 4.19	Kelompok Rata-Rata Stabilitas	54
Tabel 4.20	Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel Flow	54
Tabel 4.21	Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Flow	55
Tabel 4.22	Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap MQ	56
Tabel 4.23	Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel VMA	57
Tabel 4.24	Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap VMA	57
Tabel 4.25	Kelompok Rata-Rata VMA	58
Tabel 4.26	Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel VFB	59
Tabel 4.27	Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap VFB	59
Tabel 4.28	Kelompok Rata-Rata VFB	60
Tabel 4.29	Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel VIM	60
Tabel 4.30	Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap VIM	61
Tabel 4.31	Kelompok Rata-Rata VIM	61
Tabel 4.32	Pembahasan Hubungan Antara Variabel Terikat dan Variabel Bebas	63



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Penyebaran Beban Roda di Lapisan Perkerasan Lentur dan Kaku	5
Gambar 2.2	Lapisan Perkerasan Lentur	6
Gambar 2.3	Grafik penetrasi terhadap suhu dua aspal yang identik	10
Gambar 2.4	Nomograf Indeks Penetrasi	11
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	25
Gambar 3.2	Bagan Alir Pembuatan Benda Uji	32
Gambar 4.1	Grafik 3D Surface Stabilitas Akibat Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	42
Gambar 4.2	Grafik 3D Surface Flow Akibat Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	44
Gambar 4.3	Grafik 3D Surface Pengaruh Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai VIM	46
Gambar 4.4	Grafik 3D Surface VMA Akibat Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman	48
Gambar 4.5	Grafik 3D Surface Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap VFB. . .	49
Gambar 4.6	Area Variasi yang Memenuhi Spesifikasi Bina Marga	50
Gambar 4.7	Stabilitas	64
Gambar 4.8	VMA	65
Gambar 4.9	VFB	65
Gambar 4.10	VIM	66



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar.....	71
Lampiran 2.	Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar.....	71
Lampiran 3.	Pengujian Kepipihan dan Kelonjongan.....	71
Lampiran 4.	Pengujian Berat Jenis Agregat Halus.....	71
Lampiran 5.	Pengujian Kadar Aspal Asbuton.....	72
Lampiran 6.	Mineral Asbuton Hasil Ekstraksi.....	72
Lampiran 7.	Hasil Pengujian Karakteristik LGA.....	73
Lampiran 8.	Contoh Perhitungan.....	74
Lampiran 9.	Lama Pemeraman 9 hari.....	76
Lampiran 10.	Lama Pemeraman 5 hari.....	78
Lampiran 11.	Lama Pemeraman 3 Hari.....	80
Lampiran 12.	Lama Pemeraman 1 Hari.....	82



RINGKASAN

Nur Hamidah dan Nur Hilmy Dhiya Ul'Aziz, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2021, *Pengaruh Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Kinerja Marshall pada Campuran CPHMA Menggunakan Asbuton B50/30*, Dosen Pembimbing : Hendi Bowoputro dan Ludfi Djakfar.

Salah satu pembuatan asbuton adalah LGA (Lawele Granular Asphalt), LGA adalah aspal buton yang memiliki kandungan antara 25% sampai 35%. Manfaat mendasar dari LGA adalah tahan terhadap perubahan suhu dari titik relaksasi yang lebih tinggi daripada *asphalt oil*. Beberapa pengujian pada LGA memerlukan bahan peremaja sebagai pelunak aspal asbuton sehingga memiliki sifat fisik dan ketahanan yang mendekati dengan lapisan aspal minyak.

Dalam ulasan ini, pengujian Marshall dilakukan dengan menggunakan teknik *Two Way Anova*. Faktor bebas (*independent*) adalah variabel yang mempengaruhi variabel terikat (*dependent*). Faktor bebas dalam tinjauan ini adalah suhu pemadatan (25°C, 50 °C, 75 °C, dan 100°C) dan waktu pemeraman (1 hari, 3 hari, 5 hari, 9 hari). Variabel terikat dalam tinjauan ini adalah nilai *stability*, nilai *flow*, nilai VIM, nilai VFB, dan nilai VMA. Faktor kontrol dalam tinjauan ini adalah kadar aspal dalam kombinasi 6%, awal, dan keadaan agregat. Hasil yang didapat dari tinjauan ini adalah bahwa suhu pemadatan mempengaruhi nilai *stability*, VFB, VMA, dan VIM. Waktu pemeraman mempengaruhi stabilitas, VFB, VIM, dan VMA. Hubungan antara dua faktor bebas signifikan pada stabilitas, VMA, VFB dan VIM, sementara *flow* tidak secara mendasar dipengaruhi oleh suhu pemadatan, waktu pemeraman atau hubungan antara suhu pemadatan dan waktu pemeraman. Rentang variasi yang memenuhi semua spesifikasi adalah benda uji dengan variasi lama pemeraman 4-5 hari pada variasi suhu pemadatan 88-91 °C.

Kata Kunci : Keausan, Suhu Pemadatan, Lama Pemeraman, Marshall, Two Way Anova

SUMMARY

Nur Hamidah and Nur Hilmy Dhiya Ul'Aziz, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, August 2021, *Effect of Compaction Temperature and Curing Time on Marshall Performance on CPHMA Mixture Using Asbuton B50/30*, Supervisors : Hendi Bowoputro and Ludfi Djakfar.

One of the manufacture of asbuton is LGA (Lawele Granular Asphalt), LGA is Buton asphalt which has a content between 25% to 35%. The fundamental benefit of LGA is that it is resistant to temperature changes from a higher relaxation point than asphalt oil. Several tests on LGA require a rejuvenating agent as a softener of asphalt asphalt so that it has physical properties and resistance that is close to that of oil asphalt.

In this review, Marshall testing was performed using the Two Way Anova technique. The independent factor (independent) is a variable that affects the dependent variable (dependent). The independent factors in this review were the compaction temperature (250C, 50 0C, 75 0C, and 1000C) and curing time (1 day, 3 days, 5 days, 9 days). The dependent variable in this review is the stability value, flow value, VIM value, VFB value, and VMA value. The control factor in this review is the asphalt content in the combination of 6%, initial, and aggregate state. The results obtained from this review are that the compaction temperature affects the value of stability, VFB, VMA, and VIM. The curing time affects stability, VFB, VIM, and VMA. The relationship between the two independent factors was significant on stability, VMA, VFB and VIM, while flow was not fundamentally affected by solidification temperature, curing time or the relationship between solidification temperature and curing time. The range of variation that meets all specifications is the specimen with a variation of curing time of 4-5 days at a compaction temperature variation of 88-91 0C.

Keywords: Wear, Compaction Temperature, Curing Time, Marshall, Two Way Anova

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan volume lalu lintas yang semakin meningkat di setiap daerah memberikan pengaruh yang besar terhadap permintaan pembuatan jalan baru yang penting bagi pertumbuhan suatu daerah. Dengan adanya peningkatan volume kendaraan menyebabkan permukaan jalan menjadi rusak dikarenakan beban kendaraan lalu lintas yang meningkat.

Sejalan dengan permasalahan yang terjadi tersebut, cadangan aspal minyak dunia semakin berkurang sementara Indonesia memiliki deposit aspal alami yang tersebar di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Berdasarkan laporan akhir Puslitbang Jalan dan Jembatan tahun 2011 menyebutkan bahwa deposit aspal alam yang terletak di Pulau Buton sebesar 662 juta ton dengan rincian 638,2 juta ton terletak di Kabupaten Buton dan 24,2 juta ton terletak di Kabupaten Buton Utara.

Penelitian-penelitian terdahulu memperlihatkan bahwasanya asbuton dapat dimanfaatkan pada aspal jalan. Meskipun demikian, pemanfaatan asbuton sebagai bahan aspal jalan di lapangan masih belum optimal. Masalah ini menjadi tantangan tersendiri bagi para peneliti dalam memaksimalkan penggunaan asbuton.

Salah satu pengolahan asbuton adalah LGA (Lawele Granular Asphalt), LGA merupakan aspal alam buton yang memiliki kadar antara 25% hingga 35%. Kelebihan utama LGA yaitu tahan terhadap perubahan suhu dari titik lembek lebih tinggi dibandingkan dengan aspal minyak. Beberapa penelitian mengenai LGA memerlukan bahan peremaja sebagai pelunak bitumen asbuton sehingga memiliki sifat fisik dan ketahanan mendekati aspal minyak.

Permasalahan dalam lapisan perkerasan lentur adalah bahan ikat asbuton dimana kemampuan lapis perkerasan tersebut belum dapat bersaing dengan lapisan perkerasan lentur aspal minyak.

Salah satu solusi untuk mendapatkan aspal yang sesuai dengan kebutuhan lalu lintas di jalan maka aspal buton LGA diujikan dengan membuat variasi suhu pemadatan dan lama pemeraman serta proporsi kadar asbuton. Dari pembahasan diatas maka peneliti mengambil judul **“Pengaruh Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Kinerja Marshall pada Campuran CPHMA Menggunakan Asbuton B50/30”**.

1.2 Identifikasi Masalah

Penulisan penelitian tentang Pengaruh Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Kinerja Marshall pada Campuran CPHMA Menggunakan Asbuton B50/30 didasarkan pada:

1. Penggunaan asbuton sebagai bahan pilihan aspal jalan mengingat kekayaan alam yang melimpah di wilayah Buton.
2. Aspal CPHMA tidak sebaik *asphalt oil*.

1.3 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikonsentrasikan dalam *review* ini tergantung pada masalah di atas yaitu:

1. Bagaimana pengaruh suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap karakteristik marshall?
2. Berapa suhu pemadatan dan lama pemeraman optimum pada campuran CPHMA asbuton B50/30?

1.4 Batasan Masalah

Untuk mencapai maksud agar tujuan tidak meluas maka dibatasi pada:

1. Asbuton butir yang digunakan memiliki penetrasi 50 dengan kadar aspal sebesar 30%.
2. Metode pencampuran yang digunakan adalah CPHMA.
3. Penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

4. Kadar aspal *jobmix* yang digunakan sebesar 6% yang berasal dari bitumen asbuton.
5. Variasi suhu pemadatan hanya dilakukan pada suhu 25 °C, 50 °C, 75 °C, dan 100°C.
6. Variasi lama pemeraman dilakukan selama 1 hari, 3 hari, 5 hari, dan 9 hari.
7. Tidak membahas pengaruh bahan peremaja.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari *research* ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui pengaruh suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap karakteristik marshall pada campuran CPHMA.
- Mengetahui variasi suhu pemadatan dan lama pemeraman optimum pada campuran CPHMA.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari *research* ini adalah:

1. Menggunakan asbuton sebagai pengganti aspal jalanan untuk *asphalt oil*.
2. Informasi di bidang aspal dalam variasi suhu pemadatan dan lama pemeraman dengan asbuton.
3. Hasil eksplorasi diharapkan menjadi arsip ilmiah yang berharga untuk dimanfaatkan sebagai semacam perspektif untuk pemeriksaan tambahan.
4. Bagi penulis, semua hasil pemeriksaan dan eksplorasi diandalkan memiliki opsi untuk membantu tambahan dominasi kapasitas logis dalam bidang aspal jalan, khususnya asbuton.

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan jalan raya merupakan bagian penting untuk jalan yang diperkeras dengan lapisan pengembangan tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, kekokohan, dan kemantapan tertentu untuk mendistribusikan beban lalu lintas di atasnya dengan aman ke tanah dasar. Perkerasan jalan terdiri dari sub-base, bangunan atas, termasuk lapisan permukaan.

2.1.1 Konstruksi Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan jalan raya merupakan kombinasi agregat dan bahan pengikat yang dimanfaatkan sebagai beban lalu lintas kendaraan sehingga tidak terjadi deformitas/penurunan roda kendaraan yang melintas. Material yang digunakan adalah *squashed stone*, *stream stone*, dan *split stone*. Sedangkan bahan pengikatnya adalah beton, *asphalt oil*, dan tanah. Pembangunan jalan dibagi menjadi tiga tergantung pada material pembatasnya, yaitu pengembangan aspal *adaptable*, pengembangan aspal *inflexible*, dan pengembangan aspal komposit.



Gambar 2.1 Penyebaran Beban Roda di Lapisan Perkerasan Lentur dan Kaku

Sumber: Texas Department of Transportation, 2019

Sesuai dengan penjelasan yang disampaikan pada batasan masalah yaitu penggunaan campuran pada perkerasan lentur maka yang akan dibahas mengenai perkerasan lentur saja.

2.1.2 Konstruksi Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur tersebut dipartisi menjadi lapisan-lapisan yang telah dipadatkan dengan alat berat atau secara fisik sehingga dapat diketahui tumpukan lalu lintas kendaraan yang menggunakan roda lalu lintas atau tumpukan tersebut merata p_0 dan menyebar ke lapisan di bawahnya atau p_1 , sehingga timbunan di tanah dasar lebih kecil daripada timbunan pada lapisan permukaan dan lebih kecil dari batas daya dukung tanah dasar.

Perkerasan lentur menggunakan bahan ikat *asphalt*, mudah beradaptasi terutama dalam kondisi panas. *Asphalt* dan agregat disebar di jalan dalam keadaan suhu tinggi. Aspal memiliki beberapa lapisan yang terdiri dari sebagai berikut:



Gambar 2.2 Lapisan Perkerasan Lentur

Sumber: Dirjen Binamarga PU, 2017

1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan atas yang memiliki kapasitas sebagai berikut:

- Merupakan bahan aspal untuk menahan berat roda lalu lintas.
- Merupakan kedap air dengan tujuan mengamankan badan jalan yang rusak oleh iklim
- Merupakan lapisan kedap air.

Bahan lapisan permukaan setara dengan bahan lapis pondasi namun kondisinya lebih tinggi, bahan lapisan *asphalt* diperlukan dengan alasan bahwa bahan tersebut tahan air, selain itu bahan lapisan *asphalt* memiliki tekanan lentur yang memperluas batas pengangkutan roda lalu lintas kendaraan. Penentuan bahan harus mempertimbangkan umur penataan, tahapan pembangunan, hingga keuntungan dari biaya yang telah di keluarkan

2. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas berada di tengah lapisan permukaan dan lapisan pondasi bawah, bahan alam terdiri dari batu pecah, batu kerikil, dan penyesuaian tanah dengan beton atau kapur sehingga $\text{CBR} > \text{setengah tercapai}$, $\text{PI} < 4\%$ dapat digunakan.

- Merupakan bagian yang menopang tumpukan roda lalu lintas kendaraan.
- Merupakan tempat untuk lapisan permukaan (*Surface Course*).

3. Lapisan Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Lapis pondasi bawah diperlukan karena daya dukung tanah dasar yang terlalu lemah.

Fungsi lapisan ini antara lain:

- Sebagai lapis pertama agar memudahkan pelaksanaan konstruksi.
- Efisiensi penggunaan material akibat pengurangan ketebalan.

2.2 Bahan Penyusun Perkerasan Lentur

Bahan penyusun aspal adaptif terdiri dari bahan ikat dan bahan pokok. Material dasar adalah material vital yang dapat berupa batuan, batu pecah/total, pasir dan lain-lain. Sedangkan bahan ikatnya bergantung pada jenis susunan aspal yang dapat digunakan, antara lain *asphalt* atau bitumen, lumpur, beton *portland*.

2.2.1 Agregat

Sifat-sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan pengembangan aspal jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) golongan, yaitu:

A. Kekuatan dan kekokohan lapisan aspal dipengaruhi oleh derajat gradasi, ukuran paling besar, kemampuan tanah lempung, kekerasan dan kekokohan (daya tahan dan ketanggungan) dari bentuk butir dan bentuk permukaan.

B. Kapasitas di lapisi permukaan aspal yang baik.

Berdasarkan ukuran butiran, agregat dapat dibedakan menjadi:

a. Agregat kasar

Agregat kasar yang layak terdiri dari batuan yang sudah berkeping-keping tidak bernoda, padat, kering, keras, diperhitungkan sudutnya, bebas dari kotoran lumpur dan

bahan asing lainnya agar bergabung dengan baik. Agregat kasar keseluruhan harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Ketentuan agregat kasar dapat dilihat di Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat		Maks. 8%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kekekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D4791-10	Maks. 10%
Material lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2015	95/90

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

b. Agregat Halus

Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan ikatan yang baik terhadap campuran aspal. Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 3423:2008	Maks 1%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min 45

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

2.2.2 Aspal (Bahan Pengikat)

Aspal adalah bahan berwarna tanah yang gelap atau kusam pada suhu yang tinggi hingga semi-kuat dan bersifat viskoelastik, jika dihangatkan sampai suhu tertentu lapisan hitam akan larut dan jika suhu kembali normal warna hitam dan kembali mengeras.

Aspal adalah senyawa hidrokarbon yang terdiri dari belerang, oksigen, dan klorin. Secara kumulatif, biasanya 80% massa aspal adalah karbon, 10% hidrogen, 6% belerang, sisanya adalah oksigen dan nitrogen. Aspal berfungsi sebagai perekat atau pengikat agregat

yang dicampur dengan beton aspal, sehingga sangat penting untuk dijaga kemampuannya dalam melekat, titik lunak, dan kelenturannya.

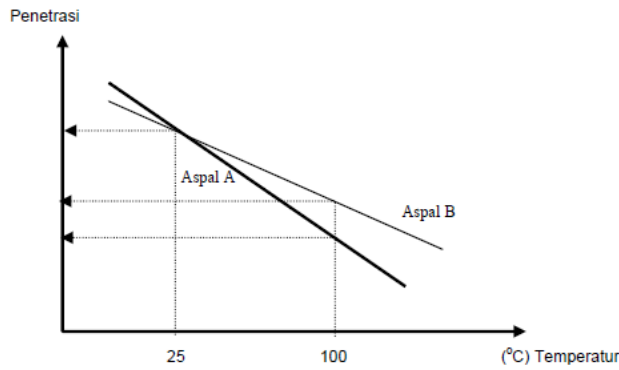
Menurut karakterisasinya, *asphalt* tersebut dibagi menjadi dua macam, yaitu *asphalt oil* dan aspal alam. Aspal alam adalah aspal yang didapat dari alam, misalnya di Buton dan ada juga yang didapat dari danau seperti yang ada di pulau Trinidad, sedangkan aspal minyak adalah hasil akumulasi dari penyulingan bensin.

2.2.2.1 Viskositas Aspal

Kekekntalan aspal memiliki sifat yang berguna untuk aplikasi lapangan dan perencanaan kombinasi. Hubungan antara kekentalan dan suhu memainkan peran penting. Konsistensi *asphalt* berfluktuasi dari kuat, cair atau encer di mana jika asumsi kekentalan sangat rendah maka peran *asphalt* berkurang sebagai perekat dan kapasitas campuran berkurang, sedangkan jika kekentalan sangat tinggi maka sistem pencampuran menjadi sulit.

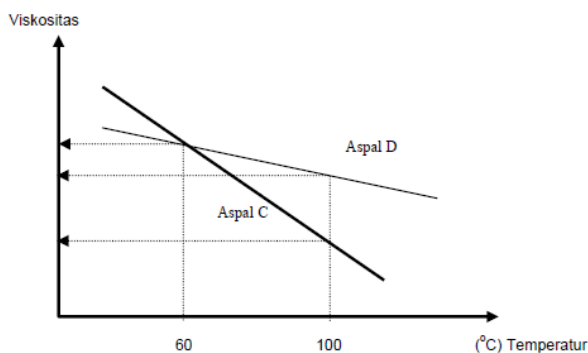
2.2.2.2 Hubungan Temperatur dan Viskositas Aspal

Aspal merupakan bahan yang termoplastis atau mudah terpengaruhi oleh suhu dimana aspal tersebut akan dalam kondisi yang keras jika suhu rendah dan sebaliknya aspal akan menjadi lunak atau cair jika suhu tinggi.



Gambar 2.3 Grafik penetrasi terhadap suhu dua aspal yang identik

Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002



Gambar 2.4 Grafik viskositas terhadap suhu dua aspal yang identik

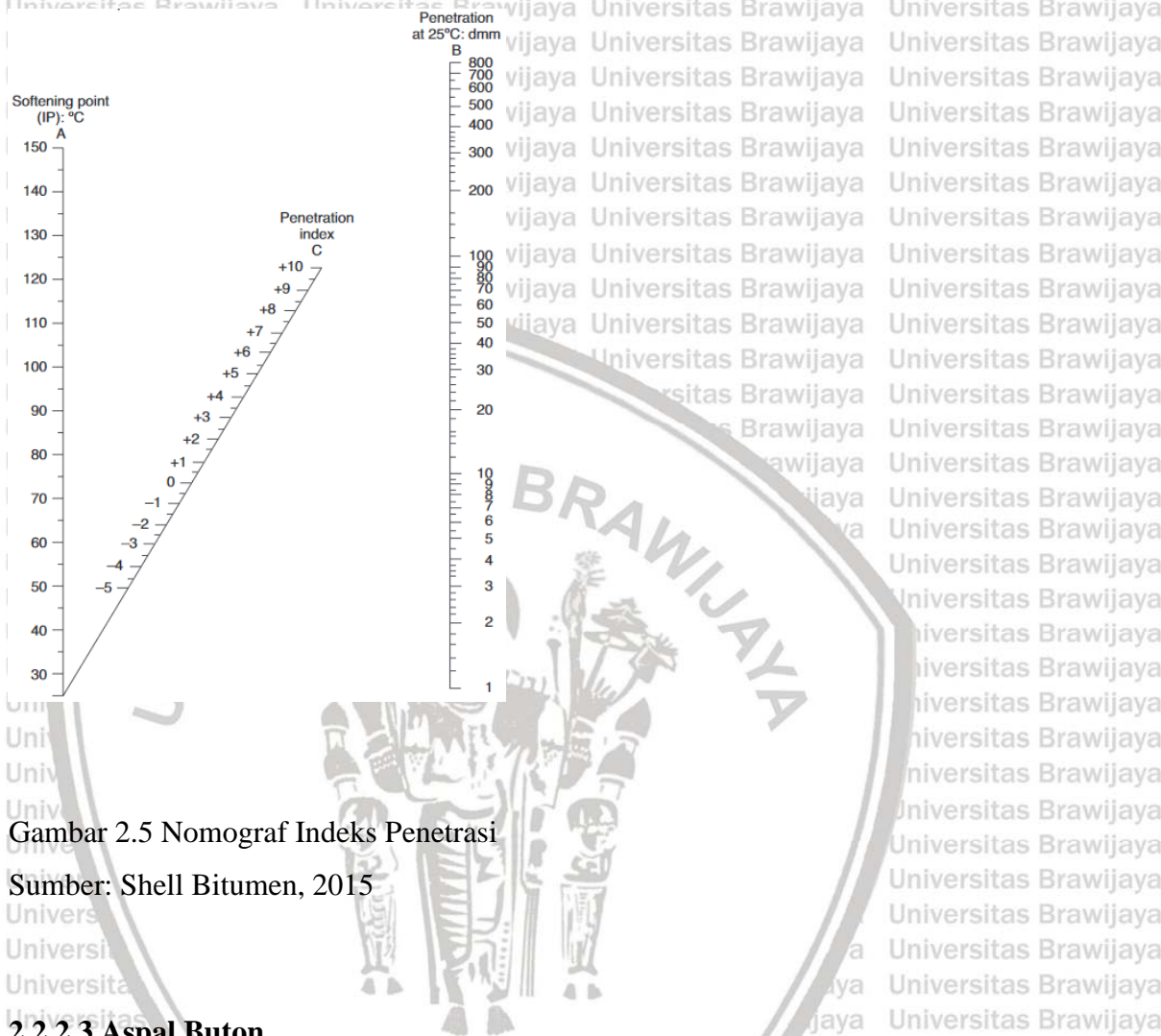
Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa aspal A dan aspal B memiliki nilai penetrasi yang sama pada suhu 25°C namun kecenderungan untuk perubahan nilai infiltrasi, aspal A memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap suhu daripada aspal B sehingga temperatur pencampuran dan pemadatan dengan aspal A dapat lebih rendah daripada aspal B. Pola serupa juga terjadi pada aspal yang memiliki kekentalan yang sama namun dari berbagai sumber seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.4.

Pengaruh aspal terhadap perubahan suhu dapat dinyatakan oleh Penetrasi Index (IP). Kinerja campuran aspal dengan IP tinggi akan menghadirkan kombinasi aspal yang memiliki

modulus soliditas dan ketahanan deformasi yang tinggi. Nilai IP harus dimungkinkan dengan bantuan nomograf Shell.

Gambar 2.5 dengan menggunakan data titik lembek dan penetrasi aspal.



Gambar 2.5 Nomograf Indeks Penetrasi

Sumber: Shell Bitumen, 2015

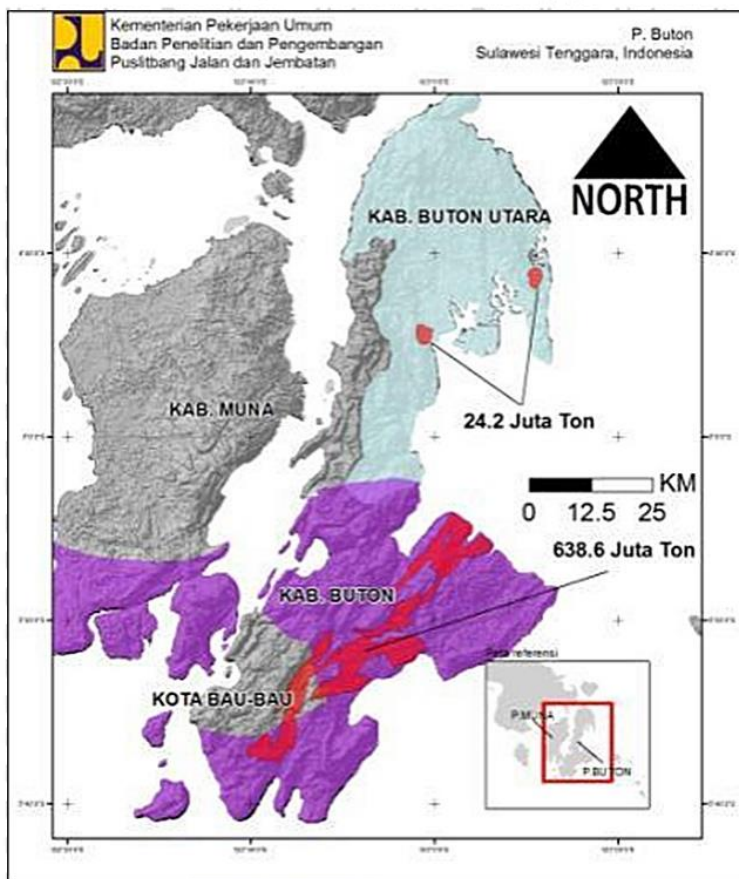
2.2.2.3 Aspal Buton

Aspal Buton pertama kali ditemukan pada zaman Belanda sebagai endapan batuan aspal di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara, pada tahun 1924 oleh seorang ahli geologi Belanda bernama W.H. Hetzel. Sejak tahun 1926, penambangan terbuka telah selesai dilakukan di wilayah Lawele dan Kabungka. Gerai Asbuton tersebar dari Teluk Sampolawa hingga Teluk Lawele (Gompul, 1991) ditambah dengan wilayah Enreke yang tercatat sebagai wilayah Kabupaten Muna. Dari sekian banyak kawasan endapan sedimen asbuton, tambang Kabungka paling banyak ditambang dan digunakan, sedangkan tambang Lawele baru dalam tahap penyelidikan dan belum banyak dimanfaatkan.

Terdapat dua jenis asbuton yaitu:

1.) Kabungka yang memiliki nilai *penetration* yang rendah (<10) dengan kadar air yang tinggi ($>10\%$) dan *asphalt content* sebesar 12-25%, batuan dasar asbuton Kabungka adalah batu gamping dengan pori-pori batuan yang dapat menyerap sebanyak 12%-20%, Jadi penambangan perlu menggunakan bahan peledak. Batu kapur yang telah sudah hancur kemudian digerus dengan mesin penghancur batu (*Stone Crusher*). Aspal alam biasa yang telah melalui bungkus kemudian dikirim. Kemudian *assembling* dengan menggabungkan aspal yang dibundel dengan rejuvenator yang sudah tercampur untuk diperam selama 2-5 hari. Setelah selesai pemeraman, kombinasi tersebut dipadukan dengan agregat dan siap untuk di gelar.

2.) Lawele memiliki sifat aspal yang lembek dengan tingkat penetrasi yang sama dengan aspal minyak dengan kadar air rendah dan kandungan kadar aspal 25-35%. Buton Lawele aspal merupakan batuan dasarnya dari silika dengan aspal yang tidak tembus tetapi melekat pada permukaan batu sebesar 25%-35%, sehingga tidak diperlukan pemeraman dan siap di gelar. Kekurangannya adalah bahwa kekentalanya terlalu besar sebagai penyimpangan sehingga sulit untuk diukur sesuai jumlah yang diperlukan. Kandungan bitumen yang tinggi membuat asbuton lawele dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dan sebagai pengganti *asphalt oil* untuk mengurangi takaran penggunaan. Asbuton Lawele harus dikondisikan terlebih dahulu dengan tujuan agar memenuhi kebutuhan sebagai bahan tambahan atau sebagai pengganti aspal minyak.



Gambar 2.6 Peta Lokasi Aspal Buton

Sumber: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, 2011

2.2.3 LGA (Lawele Granular Asphalt)

LGA (Lawele Granular Asphalt) adalah bahan tambah *asphalt additive* yang dapat bekerja pada sifat-sifat kombinasi aspal buton dan digunakan sebagai pengganti aspal minyak dalam campuran aspal pada *hot blend* dan *cold blend*. LGA digunakan untuk lapisan keausan atau lapisan antara jalan yang memiliki sifat sebagai berikut:

- Tahan air
- Memiliki nilai analitis

Material Granular Asphalt merupakan bahan tambahan untuk kombinasi aspal. Material dari LGA terdiri dari aspal keras, *filler*, dan batu pecah dari mesin batu pemecah. Jika perlu, pengisi dapat dibuat dari kapur, beton, yang disesuaikan dengan aturan.

Tabel 2.3 Persyaratan Asbuton Butir

Sifat-sifat Aspal Buton	Metode Pengujian	Tipe B5/20	Tipe B50/30
Sifat Bentuk Asli			
Kadar bitumen aspal buton; %	SNI 03-3640-1994	Min. 18	Min. 20
Ukuran butir			
Lolos ayakan 3/8 (9,5 mm);%	SNI 03-1968-1990	-	100
Lolos ayakan No. 8 (2,36 mm);%	SNI 03-1968-1990	100	-
Kadar air;%	SNI 2490:2008	Maks. 2	Maks. 4
Sifat Bitumen Hasil Ekstraksi (SNI 8279:2016) dan Pemulihan (SNI 4797:2015)			
Kelarutan dalam TCE; % berat	SNI 2438:2015	Min. 99	Min. 99
Penetrasi asbuton pada 25°C, 100 g, 5 detik, 0,1 mm	SNI 2456:2011	2-15	40-70
Titik lembek	SNI 2434:2011	-	Min. 50
Daktilitas	SNI 2432:2011	-	≥ 100
Berat jenis	SNI 2441:2011	-	Min. 1,0
Penurunan berat (dengan TFOT); LoH (<i>Loss of Heating</i> , %)	SNI 06-2440-1991	-	≤ 2
Penetrasi asbuton setelah LoH pada 25°C, 100 g, 5 detik; (% terhadap penetrasi awal)	SNI 2456:2011	-	≥ 54

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

2.2.4 Peremaja

Menghidupkan kembali kapasitas spesialis sebagai bahan yang digunakan untuk merestorasi dan melunakkan bitumen dalam asbuton dengan tujuan agar kembali ke sifat aslinya.

2.3 Campuran Aspal Panas

Campuran aspal panas adalah kombinasi yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, peremaja, dan bahan pengikat aspal dalam proporsi tertentu dan dicampur dalam kondisi panas. Kualitas campuran aspal panas:

1. *Stability* adalah lapisan pembangunan jalan yang memikul beban lalu lintas tanpa perubahan sesuai dengan kondisi seperti gelombang, alur, dan deformasi. Persyaratan kekokohan bergantung pada kebutuhan kendaraan yang dilalui. Jika volume lalu lintas tinggi atau kendaraan berat melintas, persyaratan kepadatan jauh lebih penting. Sementara itu, jika volume lalu lintas rendah, persyaratan untuk ketergantungan sedikit.
2. Ketangguhan adalah kapasitas untuk menahan jarak tempuh karena dampak lingkungan, air, perubahan suhu, dan karena supresi kendaraan.

3. Fleksibilitas adalah batas lapisan untuk mengikuti puntiran akibat beban lalu lintas kendaraan yang berulang tanpa putus.
4. Obstruksi geser adalah kerasnya permukaan aspal untuk menahan roda kendaraan dalam kondisi basah atau kering agar tidak slip.
5. Kedap air adalah kemampuan aspal untuk menghambat aliran air dan udara yang mengakibatkan penurunan kekuatan lapisan di bawahnya.
6. Fungsionalitas adalah kapasitas suatu campuran untuk disebar dan dipadatkan untuk mendapatkan hasil ketebalan yang ideal.
7. Ketahanan kelelahan adalah terhalangnya lapisan atas hitam untuk mendapatkan beban berulang tanpa menghasilkan.

2.4 Campuran Beraspal Panas (*hotmix*) dengan Asbuton

Campuran panas pada titik fokus pabrik pencampuran, disebar, dan dipadatkan di atas lapisan bangunan atau permukaan jalan seperti yang ditunjukkan oleh rincian, ketinggian garis pertemuan dan area memanjang sesuai gambar rencana.

a.) Agregat

1.) Umum

- Agregat yang akan digunakan harus sedemikian rupa sehingga kombinasi aspal dengan rencana campuran yang berfungsi memenuhi kebutuhan dalam Tabel 2.7 Persyaratan CPHMA Padat dalam Spesifikasi Khusus CPHMA Interm.
- Maksimum 3% konsumsi air pada agregat.
- Perbedaan dalam gravitasi eksplisit (massa gravitasi eksplisit) dari agregat halus dan kasar tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

2.) Agregat kasar

- Bagian agregat kasar adalah yang tertahan pada ayakan No. 4 (4,75 mm) dalam keadaan sempurna, keras dan bebas dari kotoran atau bahan lain yang tidak diinginkan dan sesuai dengan susunan Tabel 2.1.
- Ukuran terbesar dari agregat adalah ukuran ayakan yang satu tingkat lebih besar dari ukuran asli. Ukuran asli adalah ukuran ayakan utama di bawah ukuran terbesar dengan total beban yang ditahan di bawah 10%.

- Agregat kasar memiliki presisi yang diperlukan pada Tabel 2.1. Ketepatan total kasar dicirikan sebagai persentase berat total yang lebih menonjol dari 4,75 mm.

3.) Agregat Halus

- Ag Agregat halus terdiri dari saringan pasir atau batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm).
- Bagian dari agregat halus dari mesin pemecah dan pasir harus diisolasi dari total kasar.
- Agregat halus dan pasir harus ditumpuk secara terpisah di pabrik pencampuran aspal menggunakan penampung dingin (*cold bin feeds*) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dapat dikontrol.
- Pasir alam dapat digunakan dalam pencampuran aspal panas dengan kadar paling ekstrim 15% dari berat mutlak kombinasi.
- Agregat halus harus bersih, keras dan bebas dari kotoran, atau bahan lain yang tidak diinginkan.
- Agregat harus memenuhi kondisi yang dicatat dalam Tabel 2.2.

4.) Gradasi Agregat Gabungan

Derajat total merupakan kombinasi dari agregat halus, agregat kasar, dan mineral asbuton. Derajat campuran harus berada di dalam kondisi batas pusat kendali pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persyaratan Gradasi Agregat Gabungan

Ukuran ayakan		% Berat Lolos		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base Course
1½"	37,5			100
1"	25		100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	21-40	18-38	13-30
No. 30	0,6	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,3	9-22	7-20	6-15
No. 100	0,15	6-15	5-13	4-10

No. 200	0,075	4-9	4-8	3-7
---------	-------	-----	-----	-----

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

2.5 Asbuton Campuran Panas Hambar Dingin (CPHMA)

CPHMA atau campuran beraspal panas asbuton dihampar dingin adalah item terbaru dari aspal buton. CPHMA diproses oleh pencampuran panas yang dibuat dan kemudian difabrikasi dalam struktur dikemas. Sementara dihampar dan dipadatkan dengan kondisi dingin (suhu udara). Item ini merupakan pilihan di daerah yang jauh dan pulau-pulau kecil yang membatasi unit Asphalt Mixing Plant (AMP). Spesifikasi CPHMA dapat ditemukan pada Tabel 2.5 dan memiliki kualitas aspal yang diekstraksi seperti yang ditampilkan pada

Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Gradasi Gabungan Agregat CPHMA Hasil Ekstraksi

Ukuran Ayakan	% Berat Lolos terhadap
ASTM (mm)	Total Agregat
¾	19
½	12,5
¾	9,5
No. 4	4,75
No. 8	2,36
No. 50	0,300
No. 200	0,075

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

Tabel 2.6 Karakteristik Bitumen Hasil Ekstraksi CPHMA

Karakteristik Bitumen Hasil Ekstraksi	Metode Pengujian	Persyaratan	Satuan
Kadar Aspal	SNI 03-3640-1994	6-8	%
Penetrasi 25°C, 100gr, 5 detik	SNI 2456:2011	Min. 100	
Titik Lembek	SNI 2434:2011	Min. 40	°C
Daktilitas pada 25°C, 5cm/menit	SNI 2432:2011	Min.100	Cm

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

Spesifikasi tersebut berdasarkan pedoman guna perencanaan campuran yang akan digunakan. Pengujian pekerjaan campuran beraspal panas menggunakan spesifikasi campuran beraspal CPHMA tersebut.

Tabel 2.7 Persyaratan CPHMA Padat pada Spesifikasi Khusus Intern CPHMA

Karakteristik Campuran	Persyaratan	Satuan
Jumlah tumbukan per bidang	75	
Rongga dalam campuran (VIM)	4 – 10	%
Rongga dalam agregat (VMA)	Min.16	%

Rongga terisi aspal (VFB)	Min. 60	%
Stabilitas <i>Marshall</i> pada suhu 25°C	Min.500	Kg
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 25°C	Min. 60	%

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018

2.6 Karakteristik *Marshall*

Karakteristik *Marshall* merupakan nilai *stability*, *flow*, VIM, VMA, VFB, dan MQ dengan titik pemeriksaan volumetrik dan keandalan aliran benda uji, berikut beberapa spesifikasi *Marshall*:

2.6.1 Unit Weight

Berat satuan adalah berat campuran dengan volume kering untuk menentukan ketebalan berat kombinasi, ketebalan yang tinggi memiliki kekuatan beban yang lebih tinggi daripada ketebalan rendah.

2.6.2 Specific Gravity

Explicit Gravity (SG), adalah proporsi antara berat total dan volume campuran. Ada 3 macam total SG dalam campuran yang bergantung pada ide infiltrasi black-top ke total, lebih spesifik:

1. *Bulk SG*, dengan anggapan: aspal hanya menutupi agregat pada tingkat yang dangkal, tidak meresap ke bagian yang dapat ditembus.
2. *Apparent SG*, dengan anggapan: lapisan aspal meresap ke dalam agregat dengan tingkat retensi yang sama seperti air.
3. SG yang efektif, aspal meresap ke dalam agregat dengan tingkat konsumsi resapan yang lebih rendah daripada air.

2.6.3 VIM (Void In Mix)

Merupakan volume rongga udara dalam campuran, nilai VIM mempengaruhi keawetan kombinasi agregat, jika nilai VIM lebih tinggi, campuran lebih permeabel. Kondisi ini membuat campuran menjadi kurang kental sehingga air dan udara secara efektif masuk

ke dalam lubang-lubang dalam kombinasi dan menyebabkan oksidasi, sehingga padatan menurun.

2.6.4 VMA (Void In Mineral Aggregate)

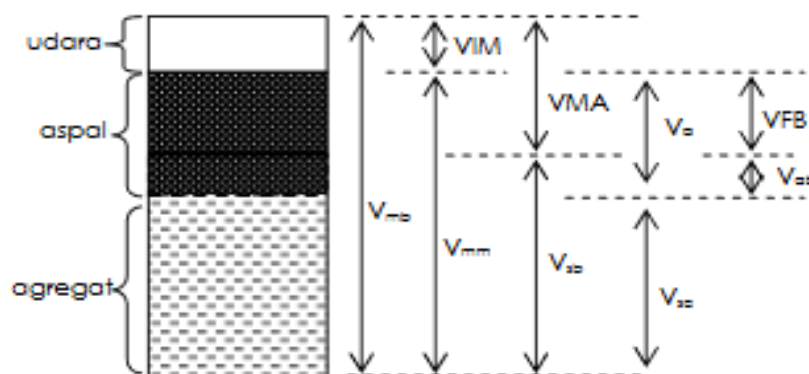
Merupakan volume rongga antara total yang telah dipadatkan dengan menggabungkan rongga yang dibuat dengan aspal dan rongga udara dinyatakan dalam persen dari volume benda uji, komponen yang mempengaruhi VMA adalah:

1. *Number of Degrees*
2. *Piece of total combination*
3. *The biggest grain breadth size*
4. *Compacting energy*
5. *Black-top substance*
6. *Granular shape*

Jika jumlah kadar agregat halus hampir tidak ada, agregat halus tidak dapat menutupi rongga sehingga nilai VMA sangat besar, tetapi jika ukuran kadar agregat halus besar kombinasi campuran lebih padat sehingga VMA nilainya kecil.

2.6.5 VFB (Void Filled Bitumen)

Merupakan rongga terisi aspal setelah pemadatan yang ditentukan dalam persen campuran ke rongga butiran (VMA). VFB tidak mengecualikan aspal yang terserap dalam agregat.



Gambar 2.7 Skematis berbagai jenis volume beton aspal padat

Sumber: Silvia sukirman, 2007

2.6.6 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan aspal yang menerima beban lalu lintas tanpa adanya gerak maju seperti gelombang, alur, atau *bleeding*. Persyaratan kebutuhan stabilitas setara dengan ukuran lalu lintas dan tumpukan kendaraan yang akan memanfaatkan jalan.

2.6.7 Flow

Merupakan deformasi ke atas yang terjadi mulai dari peristiwa penumpukan sampai kondisi stabilitas berkurang, menunjukkan besarnya nilai kerusakan yang terjadi karena menahan beban yang didapat dengan menggunakan alat Marshall. Semakin diperhatikan nilai void antara kombinasi (VIM) dan penggunaan aspal yang tinggi dapat meningkatkan nilai kelelahan plastik.

2.6.8 Marshall Quotient (MQ)

Merupakan angka yang memberitahukan tingkat kemampuan beradaptasi (*flexibility*) dari suatu campuran. MQ adalah hasil bagi antara stabilitas dan flow yang dinyatakan dalam (kN/mm).

2.7 Analisis Statistik

Salah satu cara yang digunakan adalah dengan ANOVA (pemeriksaan varietas) yang digunakan untuk menguji antara faktor bebas (*independent*) dan variabel terikat (*dependent*).

Beberapa asumsi ANOVA antara lain:

1. Hasil benda uji dari fraksi otonom
2. Perbedaan antara *factor* dan fraksi harus hasil yang mirip (homogen)
3. Bahan antara fraksi harus berdistribusi normal (uji normal)

dalam penelitian ini menggunakan ANOVA dua arah (*Two Way ANOVA*) dengan interaksi yang bertujuan untuk di ukur antara pengaruh dua *variable independent* dengan *variable dependent* disebut uji F:

- $H_0^1 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$
 $H_1^1 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\alpha_i \text{ yang tidak sama dengan } 0$
- $H_0^2 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_i$
 $H_1^2 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\beta_i \text{ yang tidak sama dengan } 0$
- $H_0^3 : (\mu\beta)_{11} = (\mu\beta)_{12} = \dots = (\mu\beta)_{ij}$
 $H_1^3 : \text{paling sedikit satu pasang } (\mu\beta)_{ij} \text{ yang tidak sama dengan } 0$

Keterangan :

H_0^1 : Hipotesis nol, menyatakan bahwa tidak ada pengaruh dari nilai faktor penambahan.

H_1^1 : Hipotesis alternatif, menyatakan bahwa ada pengaruh dari faktor penambahan.

H_0^2 : Hipotesis nol, menyatakan bahwa tidak ada pengaruh dari faktor suhu.

H_1^2 : Hipotesis alternatif, menyatakan bahwa ada pengaruh dari faktor suhu.

H_0^3 : Hipotesis nol, menyatakan bahwa tidak ada pengaruh dari faktor hubungan antara suhu pemadatan dan lama pemeraman.

H_1^3 : Hipotesis alternatif, menyatakan bahwa ada pengaruh dari faktor hubungan antara suhu pemadatan dan lama pemeraman.

Uji F dilakukan dengan cara membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel} . Diterima atau tidaknya hipotesis bergantung pada angka probabilitas (P -value).

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya penulis bermaksud untuk melacak premis hipotetis sehingga penulis dapat meningkatkan hipotesis dalam mengarahkan penelitian. Dari penelitian sebelumnya penulis mendapatkan judul skripsi yang secara praktis setara dengan judul penulis, sehingga penulis dapat menyelidiki hipotesis secara mendalam. Berikutnya adalah beberapa jurnal yang diidentifikasi dengan penelitian.

No	Nama	Tujuan	Agregat	Aspal	Metode Campuran	Rancangan Penelitian	Hasil Penelitian
1	Frigi Firstyan dan Gabriel Bagus. (2015)	Mencari hasil dari variasi suhu pemadatan terhadap kinerja <i>Marshall</i> pada campuran <i>CPHMA</i> menggunakan <i>LGA</i> dan aspal minyak penetrasi 60-70	Agregat lokal	LGA	<i>CPHMA</i>	<ul style="list-style-type: none"> Digunakan suhu pemadatan sebesar 25°C, 37,5°C, 50°C, 67,5°C Variasi aspal minyak 5%, 10%, 15%, 20% 	<ul style="list-style-type: none"> Peningkatan suhu pemadatan dapat meningkatkan nilai stabilitas, <i>flow</i>, <i>MQ</i> dan <i>VFB</i>. Sementara nilai <i>VIM</i> dan <i>VMA</i> menurun. Karakteristik <i>marshall</i> dari percobaan yang dilakukan sudah sesuai spesifikasi adalah stabilitas, <i>flow</i>, dan <i>VMA</i>. Namun nilai <i>VIM</i> dan <i>VFB</i> tidak memenuhi persyaratan.
2	Nyoman Gilang Pradnyana Sukarta, I G.A.G Surya Negara, dan Fajar Surya Herlambang (2019)	Mencari hasil dari analisis tentang pengaruh suhu pemadatan laboratorium terhadap kepadatan beton aspal	Agregat lokal	Asphalt Concrete dan Wearing Course	Campuran aspal panas	<ul style="list-style-type: none"> Digunakan suhu pemadatan sebesar 80°C, 90°C, 100°C, 150°C 	<ul style="list-style-type: none"> Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa suhu pemadatan berpengaruh terhadap kepadatan beton aspal serta sifat-sifat pengukuran volume
3	Yogi Kurnia dan Havizh Lukman Baisa. (2015)	Mencari hasil dari Kapur Padam Sebagai Filler Pada Campuran <i>CPHMA</i> (Cold	Agregat dan kapur padam	LGA	<i>CPHMA</i>	<ul style="list-style-type: none"> Digunakan suhu pemadatan sebesar 67,5°C Variasi kadar LGA 25%, 30%, 	<ul style="list-style-type: none"> Penambahan kapur padam sebagai <i>filler</i> dapat meningkatkan nilai <i>flow</i>, stabilitas, <i>VMA</i>, <i>MQ</i>, <i>VIM</i> dan <i>VFB</i>. Nilai karakteristik <i>marshall</i> dengan kadar optimum secara keseluruhan memenuhi

		Paving Hot Mix Asbuton) dengan Variasi Kadar LGA Terhadap Karakteristik Marshall				dan 35% • Variasi kadar <i>filler</i> 0/100, 25/100, 50/50, 75/25, dan 100/0	standar Bina Marga untuk <i>CPHMA</i> namun beberapa karakteristik tidak memenuhi spesifikasi.
4	Ricky Akbariawan dan Rendi Ferdiansyah. (2015)	Mencari hasil Material Lokal Madura Terhadap Kinerja Campuran <i>CPHMA</i> (<i>Cold Paving Hot Mix Asbuton</i>) dan suhu pemadatan	Agregat Madura dan batu pecah	LGA dan Aspal Minyak 60/70	<i>CPHMA</i>	• Digunakan variasi suhu pemadatan sebesar 25°C, 37,5°C, 50°C, dan 67,5°C • Variasi agregat madura 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	• Penambahan material madura sebagai campuran agregat dapat meningkatkan nilai <i>flow</i> , stabilitas, <i>VMA</i> , <i>MQ</i> , dan <i>VIM</i> namun untuk peningkatkan proposi tersebut menurunkan nilai <i>VFB</i> (<i>Void Filled with Bitument</i>) • Penambahan Suhu pemadatan pada <i>CPHMA</i> meningkatkan karakteristik yang terdiri dari <i>flow</i> , stabilitas, <i>VFB</i> , dan <i>MQ</i> . Akan tetapi untuk menurunkan nilai <i>VIM</i> dan <i>VMA</i>
5	Wido Tomo Kusdiyanto dan Andi Bayu Laksono	Mencari pengaruh lama pemeraman asbuton sebagai bahan ikat dengan flux butas buatan sebagai bahan peremaja terhadap sifat marshall campuran HRA.	Agregat Batu Pecah	LGA	<i>Cold Mix</i>	• Pemeraman Asbuton, Flux Butas dan Agregat dicampur kemudian diperam selama 4, 8, 12, 16, 20 dan 24 hari.	• Hasil analisis terhadap sifat marshall campuran HRA dapat disimpulkan bahwa nilai optimum diperoleh pada lama pemeraman hari ke 12.



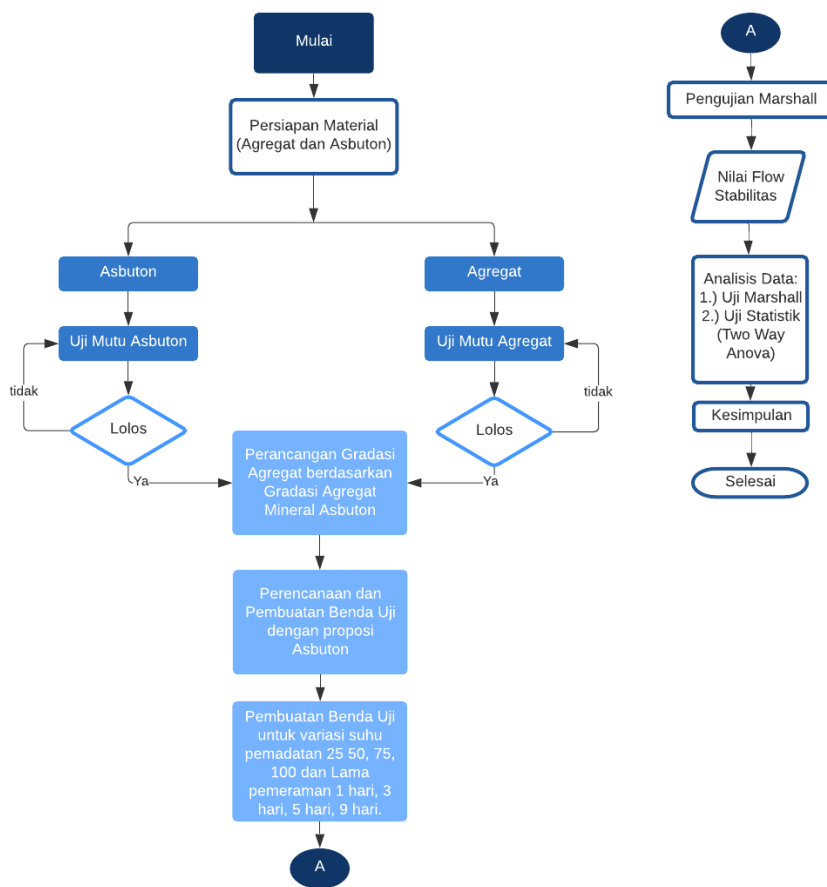
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pengaruh asbuton B 50/30 dalam campuran CPHMA dapat disajikan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu : Februari - Maret 2021.

Tempat: Laboratorium Transportasi dan Penginderaan Jauh, Jurusan Teknik Sipil,
Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Benda Uji

Variabel benda uji yang terdapat pada penelitian terdiri atas:

- 1) Variabel *independent* (bebas) adalah variabel yang mempengaruhi variabel *dependent* (terikat). Variabel bebas dalam tinjauan ini adalah suhu pencampuran (25°C, 50°C, 75°C, dan 100°C) dan waktu pemeraman (1 hari, 3 hari, 5 hari, dan 9 hari).
- 2) Variabel terikat (*dependent*) merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas (*independent*). variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai stabilitas, nilai kelelahan plastis (*flow*), nilai berat jenis campuran aspal, nilai VIM, nilai VFB, nilai VMA, dan nilai MQ.
- 3) Variabel kontrol adalah variabel yang dipandang tetap untuk mendapatkan nilai antara dua hubungan antara variabel terikat dan variable bebas. Variabel kontrol dalam tinjauan ini adalah kadar aspal dalam campuran 6%, asal dan kondisi agregat, benda uji, strategi pengujian benda uji, suhu perendaman benda uji, dan keausan agregat.

3.4 Persiapan Bahan Material

Material bahan yang dipersiapkan dikelompokkan menjadi beberapa bahan yang digunakan terdiri dari:

Aspal Buton : Aspal buton yang digunakan dalam penelitian adalah Aspal Buton LGA yang diproduksi oleh CV. Ketahanan Aspal Nasional, Malang.

Agregat : Agregat yang digunakan dalam penelitian adalah agregat lokal yang diproduksi oleh CV. Karunia *stone crusher*.

3.5 Pengujian Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

a. Asbuton

- Uji kadar aspal.
- Uji analisis saringan mineral hasil ekstraksi.

b. Agregat

- Pengujian analisis saringan.
- Pengujian keausan dengan alat abrasi Los Angeles (*Los Angeles Abrasion Test*).
- Pengujian kepipihan dan kelonjongan.
- Pengujian berat jenis dan penyerapan air.

Peralatan benda uji yang digunakan sebagai berikut:

a. Alat uji asbuton

- Seperangkat alat ekstraksi soklet.

b. Alat uji agregat

- Saringan standar agregat dengan ukuran $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{8}$ " , No.4, No.8, No.50, No.200, dan Pan.
- Tabung sand equivalent.
- Mesin Los Angeles.
- Seperangkat alat pemeriksaan berat jenis.
- Seperangkat alat pemeriksaan kepipihan dan kelonjongan.

c. Pengujian alat Marshall

- Jangka sorong.
- Timbangan dengan kapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
- Bak perendam (*waterbath*).
- Oven dengan suhu maksimal 200°C.
- Pengukur suhu (termometer).

Perlengkapan lain yang dibutuhkan:

- Mangkok untuk pemanasan agregat.
- Sendok pencampur.

- Oven.
- Sarung tangan elastis yang aman untuk tahan panas.

3.6 Rancangan Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang akan dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan antara lain sebagai berikut:

3.6.1 Kriteria Jumlah Benda Uji

Sebelum melakukan *blending* penelitian, dilakukan aturan jumlah benda uji terlebih dahulu dalam pengujian. Jumlah benda uji bergantung pada jumlah perlakuan yang dilakukan dalam pengujian. Jumlah benda uji minimum dapat ditentukan dengan menggunakan rumus *Federer* sebagai kondisi (3-1) sebagai berikut:

$$(r - 1) \times (t - 1) = 15 \quad \dots\dots (3-1)$$

Keterangan: r = Jumlah Pengulangan

t = Treatment/perlakuan

Digunakan campuran aspal dengan 4 variasi suhu pemadatan dan 4 variasi lama pemeraman sehingga didapatkan 16 *treatment*/perlakuan.

$$(r - 1) \times (t - 1) = 15$$

$$(r - 1) \times (16 - 1) = 15$$

$$15r - 15 = 15$$

$$r = 2 \text{ buah benda uji}$$

Mengingat perkiraan di atas untuk sampel benda uji diambil sekitar 2 buah sehingga dalam ulasan ini diambil 3 sampel agar lebih tepat sebagai berikut:

Tabel 3.1 Perencanaan Benda Uji dengan Asbuton B50/30

Lama Pemeraman	Suhu Pemadatan			
	25 °C	50 °C	75 °C	100 °C
1 hari	3	3	3	3
3 hari	3	3	3	3
5 hari	3	3	3	3
9 hari	3	3	3	3
Total	48			

Sumber: Hasil Analisis

Benda uji yang akan dilakukan dalam penelitian ini berjumlah 48 buah.

3.6.2 Kriteria Gradasi Agregat

Dalam tinjauan ini gradasi agregat ditentukan dari pemeriksaan saringan dimana agregat harus memenuhi satu saringan. Derajat agregat harus dipertimbangkan antara titik batas atas dan bawah dari spesifikasi yang telah ditentukan dan nilai antara rentang yang telah ditentukan.

Dengan spesifikasi agregat tergantung pada ukuran saringan akan memberikan hasil yang bagus di batas atas dan bawah sehingga dapat membuat campuran yang layak juga. Kualitas yang akan digunakan adalah sesuai Tabel 3.2.

Setelah menentukan hasil dari benda uji, kemudian dilakukan konfigurasi derajat tergantung pada hasil pengujian. Rencana derajat CPHMA (Cold Pavement Hot Mix Asphalt) harus didasarkan pada Spesifikasi Khusus Interm sebagai berikut:

Tabel 3.2 Persyaratan Gradasi Asbuton pada CPHMA

Ukuran Saringan	Persyaratan Gradasi CPHMA
1" (25 mm); % lolos	-
3/4"(19 mm); % lolos	100
1/2" (12,5 mm) ; % lolos	90-100
3/8" (9,5 mm) ; % lolos	-
No.4 (4,76 mm) ; % lolos	45-70
No.8 (2,36 mm) ; % lolos	30-55
No.50 (0,3 mm) ; % lolos	12-25
No.200 (0,075 mm) ; % lolos	6-15

Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

Tabel 3.3 Gradasi Mineral Asbuton Hasil Ekstraksi

Saringan	Mineral tertahan	% Berat yang lolos
1/2	-	$100 = (q + p + o + n + m)/(q + p + o + n + m)$
4	M	$(q + p + o + n)/(q + p + o + n + m)$
8	N	$(q + p + o)/(q + p + o + n + m)$
50	O	$(q + p)/(q + p + o + n + m)$
200	P	$q/(q + p + o + n + m)$
Pan	Q	

Sumber: Hasil Analisis

3.6.3 Penyusunan Penelitian

Berat total yang digunakan adalah 1000 gram yang terdiri dari agregat, mineral asbuton, dan aspal didapat dari aspal asbuton. Berat agregat dan mineral asbuton ditetapkan sebesar 940 gram sehingga berat LGA dan agregat berubah.

Tabel 3.4 Persiapan Benda Uji

Saringan	Batas bawah	Batas atas	Rancangan	Berat agregat	Kebutuhan agregat kasar dan halus
$\frac{3}{4}$	100	-			
$\frac{1}{2}$	90	100	95	47	47
$\frac{3}{8}$	-	-	-	-	-
4	45	70	57,5	352,5	352,5- <i>m</i>
8	30	55	42,5	141	141- <i>n</i>
50	12	25	18,5	225,6	225,6- <i>o</i>
200	6	15	10,5	75,2	75,2- <i>p</i>
Pan				98,7	98,7- <i>q</i>
			Total	940	940-(<i>m+n+o+p+q</i>)

Sumber: Hasil Analisis

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 \times (\%FF) + K \quad \dots \quad (3-2)$$

Keterangan:

P_b = kadar aspal

CA = agregat kasar (%) atau agregat tertahan No.4 = 42,5%

FA = agregat halus (%) atau agregat lolos No.4 dan tertahan No.200 = 47%

FF = bahan pengisi atau lolos saringan No.200 = 10,5%

K = konstanta antara 0,5-1 = 0,5

$$P_b = (0,035 \times (42,5)) + (0,045 \times (47)) + (0,18 \times (10,5)) + 0,5$$

$$P_b = 5,9925\% \text{ dibulatkan menjadi } 6\%$$

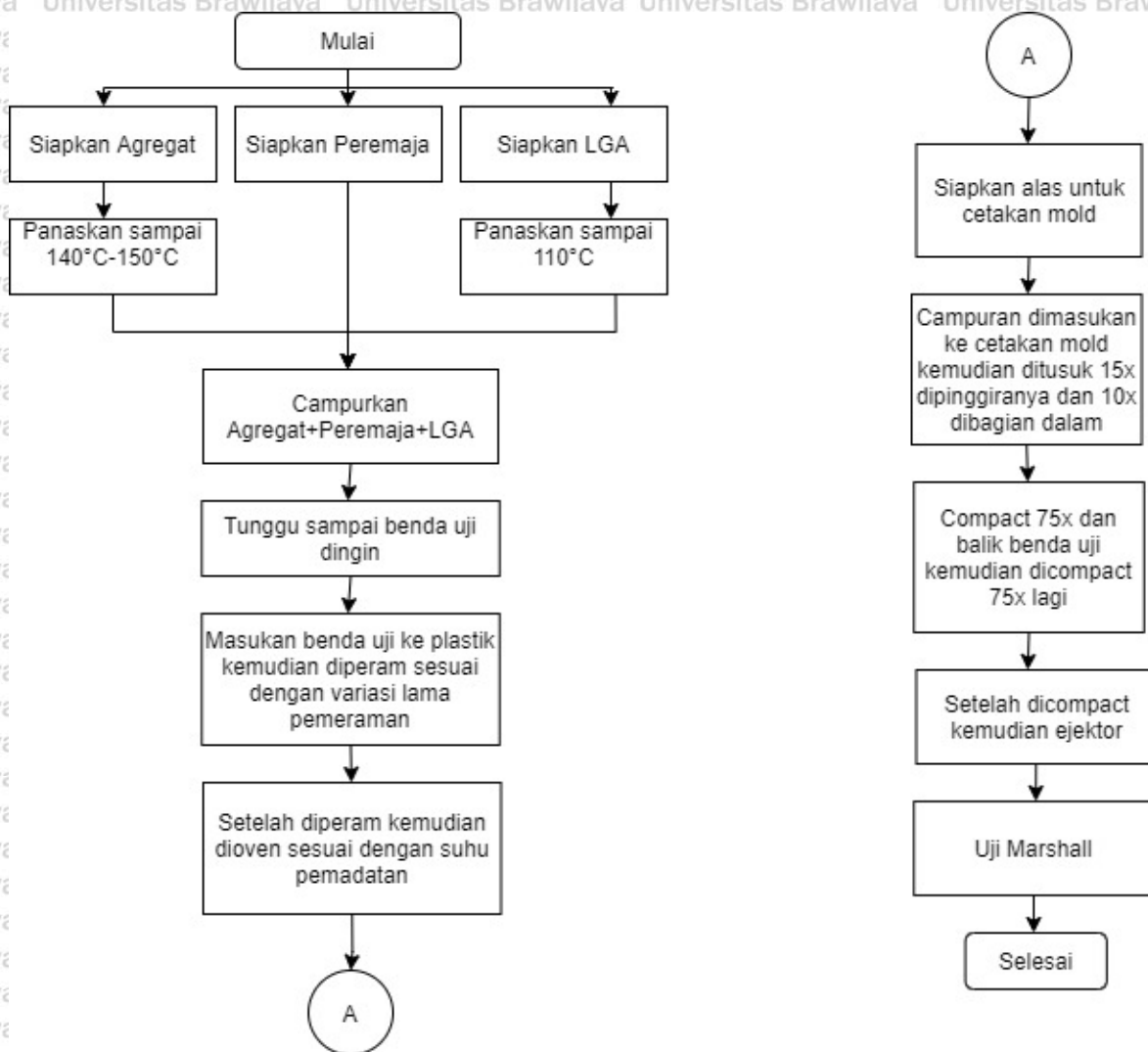
Sehingga dalam penelitian ini digunakan kadar aspal sebesar 6%. Perolehan dari kadar aspal hasil ekstraksi dibulatkan dan diintervalkan menjadi 0,5%.

3.6.4 Pembuatan Benda Uji

Setelah mendapatkan hasil ketentuan dari penelitian maka dilanjutkan dengan pelaksanaan pembuatan benda uji dengan beberapa tahap, tahapan-tahapan tersebut terdiri dari:

1. Menimbang agregat dengan takaran yang telah direncanakan, memanaskan agregat dan aspal sampai suhu tertentu.
2. Agregat dengan suhu maksimal adalah 160°C dan LGA suhu maksimalnya adalah 140°C sehingga dipilih suhu maksimal 140°C antara agregat, LGA dan aspal.
3. Setelah agregat dan LGA mencapai suhu yang diharapkan maka agregat dan LGA yang telah tercampur ditambah dengan peremaja sesuai perencanaan dan diaduk hingga homogen.
4. Masukkan campuran ke tempat penyimpanan dan diperam selama 1 hari, 3 hari, 5 hari, dan 9 hari.
5. Panaskan kembali campuran dengan variasi suhu 25°C , 50°C , 75°C , dan 100°C masukkan campuran ke dalam *mold*.
6. Lakukan penusukan campuran sebanyak dengan 25 kombinasi penumbukan beberapa kali secara merata (beberapa kali di tepi 15 dan beberapa kali di tengah 10), tutupi bagian atas dan bawah dengan kertas.
7. Lakukan pemadatan sebanyak 75 kali untuk setiap sisi menggunakan *compact*or.
8. Benda uji dikeluarkan dari *mold* dengan menggunakan alat *extruder*.

Bagan alir pembuatan benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bagan Alir Pembuatan Benda Uji

3.7 Percobaan Campuran Aspal (*Marshall Test*)

Dalam pengujian marshall dilakukan dua pedoman yaitu analisis volumetrik dan analisis stabilitas-kelelehan (*flow*) dari benda uji padat. Percobaan yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil karakteristik marshall, rentang variasi lama pemeraman, dan suhu pemadatan. Langkah-langkah percobaan sebagai berikut:

- 1) Benda uji yang digunakan harus bersih.
- 2) Ukur benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dan lakukan pengukuran.
- 3) Benda uji direndam selama 24 jam dan ukur benda uji dengan timbangan dalam air untuk mendapatkan volume.

- 4) Ukur benda uji dalam kondisi kering permukaan terendam.
- 5) Benda uji diletakkan di *waterbath* selama 30 menit pada suhu 60oC.
- 6) Keluarkan benda uji dan letakkan di bagian bawah kepala tegangan marshall.
- 7) Pasang fragmen atas di atas benda uji dan keduanya dihindarkan pada mesin uji.
- 8) Letakkan *flowmeter* di salah satu tiang pembantu, setel jarum ke nol.
- 9) Kepala penekan dan benda uji diangkat untuk diletakkan di atas fondasi cincin uji sebelum ditumpuk.
- 10) Atur dial ke posisi nol.
- 11) Benda uji di susun dengan kecepatan 50 mm setiap saat sampai diperoleh penumpukan terbesar, ketika jumlah peralatan waktu tekan Marshall berkurang.
- 12) Catat beban terbesar yang datang dan catat aliran yang ditunjukkan oleh arloji *flow* ketika beban paling ekstrem tercapai.

3.8 Analisis Marshall

Dalam pengujian marshall didapatkan dua hasil yaitu *stability* dan *flow* selain itu juga didapatkan hasil *Void Mineral Agregat (VMA)* dan *Void in Mix (VIM)*. Perhitungan untuk mendapatkan hasil stabilitas atau menahan beban kendaraan dan *flow* atau terjadinya deformasi dari beberapa tahap perhitungan maka menggunakan persamaan (3-2) yaitu sebagai berikut:

- Kadar aspal dalam benda uji

$$K. \text{aspal Briket} = \frac{B. \text{kering} - B. \text{total agregat}}{B. \text{kering}} \dots\dots (3-3)$$

- Kadar agregat dalam benda uji

$$K. \text{agregat Briket} = 100 - K. \text{aspal Briket} \dots\dots (3-4)$$

- Volume benda uji

$$V. \text{Briket} = B. \text{SSD} - B. \text{Benda uji dalam air} \dots\dots (3-5)$$

- Volume benda uji padat

$$V. \text{briket padat} = B. \text{kering} - B. \text{Benda uji dalam air} \dots\dots (3-6)$$

- Volume aspal

$$V_{aspal} = \frac{K_{aspal} \text{ briket} \times B_{kering}}{BJ_{Asbuton}} \dots\dots (3-7)$$

- Volume agregat

$$V_{agregat} = V_{briket\ padat} - V_{aspal} \dots\dots (3-8)$$

- Berat Jenis Agregat

$$BJ_{agregat} = \frac{B_{total\ agregat}}{V_{agregat}} \dots\dots (3-9)$$

- Berat jenis maksimum teoritis

$$SG_{max} = \frac{1}{\frac{\%Ag\ benda\ uji}{BJ\ Agregat} + \frac{\%As\ benda\ uji}{BJ\ Asbuton}} \dots\dots (3-10)$$

Keterangan:

SG_{max} = Specific Gravity maksimum (gr/cm^3)

%Ag. Benda uji = Kadar agregat dalam benda uji

%As. Benda uji = Kadar aspal dalam benda uji

BJ Asbuton = Berat Jenis Asbuton

BJ Agregat = Berat Jenis Agregat

- Berat Jenis Curah Benda Uji

$$BJ_{curah\ benda\ uji} = \frac{B_{kering}}{V_{benda\ uji}} \dots\dots (3-11)$$

- Kadar aspal dalam volume

$$K_{aspal\ volume} = \frac{\text{kadar aspal dalam campuran} \times BJ_{Curah\ briket}}{BJ_{Asbuton}} \dots\dots (3-12)$$

- Kadar agregat dalam volume

$$K_{agregat\ volume} = \frac{\text{kadar agregat dalam campuran} \times BJ_{Curah\ briket}}{BJ_{Agregat}} \dots\dots (3-13)$$

- VIM (Void in Mix) adalah kadar rongga udara dalam campuran

$$VIM = 100 \times \frac{SG_{max} - BJ_{curah\ briket}}{SG_{max}} \dots\dots (3-14)$$

Keterangan:

SG_{max} = Berat Jenis Maksimum Teoritis (gr/cm^3)

BJ curah briket = Berat jenis curah benda uji

- VMA (Void in Mineral Agregat) adalah kadar rongga dalam agregat

$$VMA = 100 - \frac{\text{kadar agregat dalam campuran} \times \text{BJ Curah braket}}{\text{BJ Agregat}} \dots (3-15)$$

- *VFB (Void Filled with Bitument)* adalah kadar rongga terisi aspal

$$VFB = \frac{VMA - VIM}{VMA} \times 100 \dots (3-16)$$

Keterangan:

VIM = Kadar rongga udara

VMA = Kadar Rongga dalam Agregat

- *Stability* = $A \times B \times E'$ (3-17)

Data:

Stability = Kestabilan Marshall (kg)

A = Pembacaan alat dengan teliti (lbf)

B = Kalibrasi alat *Marshall* 23,740

E' = Angka korelasi benda uji

- *Flow* adalah perubahan penurunan kekuatan akibat beban lalu lintas

$$Flow = \text{bacaan flow} \times 0,01 \dots (3-18)$$

- Marshall Quotient

$$MQ = \text{Stabilitas} / \text{Flow} \dots (3-19)$$

3.9 Analisis Statistik

Salah satu strategi yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik ANOVA (Analysis of Variance) untuk menganalisis dua kelompok. Uji yang digunakan dalam tinjauan ini adalah ANOVA dua arah atau disebut uji F, yaitu uji yang mencari pengaruh semua faktor bebas terhadap variabel terikat yang direncanakan untuk mendapatkan hasil yang besar/signifikan atau buruk/tidak signifikan dalam ulasan.persamaan terukur dapat di jelaskan dalam kondisi (3-16) sebagai berikut:

Persamaan analisis ragam.

$$Z = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad \text{.....} \quad (3-20)$$

Keterangan :

ε_{ij} : Kesalahan

μ : *mean*

α_i : Pengaruh variasi kandungan aspal ke-i

β_j : Pengaruh *compaction temperature* ke-j

$(\alpha\beta)_{ij}$: Pengaruh kedua komponen

Hipotesis statistik yang diuji adalah :

- $H_0^1 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$
 H_1^1 : paling sedikit satu pasang $\mu\alpha_i$ yang tidak sama dengan 0
- $H_0^2 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_j$
 H_1^2 : paling sedikit satu pasang $\mu\beta_j$ yang tidak sama dengan 0
- $H_0^3 : (\mu\beta)_{11} = (\mu\beta)_{12} = \dots = (\mu\beta)_{ij}$
 H_1^3 : paling sedikit satu pasang $(\mu\beta)_{ij}$ yang tidak sama dengan 0

Keterangan :

pengaruh nilai suhu pemadatan.

H_1^1 : Hipotesis alternatif, Teori alternatif, menyatakan bahwa ada pengaruh suhu pemadatan.

H_0^2 : Hipotesis nol, Spekulasi yang tidak valid, menyatakan bahwa tidak ada pengaruh faktor lama pemeraman.

H_1^2 : Hipotesis alternatif, Spekulasi alternatif, menyatakan bahwa ada pengaruh faktor lama pemeraman.

H_0^3 : Hipotesis nol, Spekulasi yang tidak valid, menyatakan bahwa tidak ada pengaruh faktor lama pemeraman dan suhu pemadatan.

H_1^3 : Hipotesis alternatif, Spekulasi alternatif, menyatakan bahwa ada pengaruh faktor lama pemeraman dan suhu pemadatan.

Diperoleh atau tidak bergantung pada teori jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ sehingga H_0 ditolak, begitu juga sebaliknya. Untuk efek samping dari spekulasi untuk diakui atau tidak, itu bergantung pada jumlah kemungkinan (P-value). Jika $P\text{-value} > 0,05$ maka H_0 diakui begitu juga sebaliknya.

3.9.1 Langkah Pengujian *Two Way* ANOVA

1. Menentukan perumusan hipotesis

a) $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \dots = 0$ (di pengaruh dengan baris nol)

H_1 : kurang dari ada satu α_i yang tidak bernilai nol

b) $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 \dots = 0$ (pengaruh di baris nol)

H_1 : kurang dari ada satu β_i yang tidak bernilai nol

2. Menentukan besaran α beserta tabel F

a.) Untuk baris : $(v_1) = b - 1$ $(v_2) = (k-1)(b-1)$

b.) Untuk kolom: $(v_1) = k - 1$ $(v_2) = (k-1)(b-1)$

$F_{\alpha}(v_1;v_2) = \dots$

3. Menentukan kriteria uji

H_0 diterima jika $F_0 \leq F_{\alpha}(v_1;v_2)$

H_0 ditolak jika $F_0 > F_{\alpha}(v_1;v_2)$

4. Membuat analisis varians dalam bentuk tabel ANOVA

Tabel 3.6 Tabel *Two Way* ANOVA dengan Interaksi

Sumber Variasi	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Rata-Rata Kuadrat	F_{hit}
Antar baris	$(r-1)$	JKB	$s_1^2 = \frac{JKB}{(r-1)}$	$F_1 = \frac{s_1^2}{s_4^2}$
Antar kolom	$(c-1)$	JKK	$s_2^2 = \frac{JKK}{(c-1)}$	$F_2 = \frac{s_2^2}{s_4^2}$
Interaksi	$(r-1)(c-1)$	JK(BK)	$s_3^2 = \frac{JK(BK)}{(r-1)(c-1)}$	$F_3 = \frac{s_3^2}{s_4^2}$
Eror	$rc(n-1)$	JKE	$s_4^2 = \frac{JKE}{rc(n-1)}$	
Total	$rcn-1$	JKT		

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Agregat

Agregat halus dan kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari CV. Karunia Penggilingan Batu Purwosari – Pasuruan Jawa Timur. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Test Type	Unit	Test result	Spek. Bina Marga		Information
			min.	max.	
Agregat Kasar					
Aggregate Absorption	%	0,81	-	3	Memenuhi Spesifikasi
Bulk specific gravity	-	2,69	2,5	-	Memenuhi Spesifikasi
SSD density	-	2,71	-	-	Memenuhi Spesifikasi
Berat jenis semu	-	2,75	-	-	Memenuhi Spesifikasi
Kelekatan aspal	%	-	95	-	
Kekekalan terhadap Natrium Sulfat	%	-	-	12	
Abrasi Los Angeles	%	16,24	-	40	Memenuhi Spesifikasi
Indeks kepipihan	%	29,02	-	25	Tidak Memenuhi Spesifikasi
Indeks kelonjongan	%	29,67	-	25	Tidak Memenuhi Spesifikasi
Agregat Halus					
Aggregate Absorption	%	3,06	-	3	Memenuhi Spesifikasi
Bulk specific gravity	-	2,61	2,5	-	Memenuhi Spesifikasi
SSD density	-	2,69	-	-	Memenuhi Spesifikasi
Berat jenis semu	-	2,83	-	-	Memenuhi Spesifikasi

Sumber: Hasil Pengujian

4.2 Pengujian Aspal Buton (LGA)

Aspal Buton yang digunakan dalam penelitian berupa aspal yang berada di tambang Lawele kemudian diolah menjadi LGA diproduksi oleh CV. Ketahanan Aspal Nasional (KAN).

Karakteristik LGA yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Karakteristik LGA

Test Type	Unit	Test result	Spesifikasi	Keterangan
penetration (25°C, 100 gr, 5dt)	0,1 mm	45,2	40-70	Memenuhi Spesifikasi
Titik Lembek (Ring & Ball)	°C	51,3	Min. 48	Memenuhi Spesifikasi
Kelarutan dalam TCE	%	99,835	Min. 99	Memenuhi Spesifikasi
Daktilitas (25°C, 5 cm/mnt)	Cm	116	>100	Memenuhi Spesifikasi
Berat Jenis (25°C)		1,034	Min. 1,0	Memenuhi Spesifikasi

Sumber: CV. Ketahanan Aspal Nasional

Tabel 4.3 Hasil Ekstraksi Bitumen LGA

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Spesifikasi	Keterangan
Kadar Aspal	%	24,69	Min. 20	Memenuhi Spesifikasi

Sumber: Hasil Pengujian

4.3 Pembuatan Benda Uji

Untuk setiap variasi perlakuan masing-masing dibuat 3 buah benda uji sebagaimana

Tabel 4.4 Jumlah Benda Uji

Lama Pemeraman	Suhu Pematanaan			
	25°C	50°C	75°C	100°C
1 Hari	3	3	3	3
3 Hari	3	3	3	3
5 Hari	3	3	3	3
9 Hari	3	3	3	3
Total	48			

Sumber: Hasil Perhitungan

4.4 Pengujian Marshall

Dalam tinjauan ini pengujian Marshall diselesaikan dengan tujuan untuk menentukan nilai *stability* dan *flow*, cara untuk mendapatkan nilai stabilitas adalah dari nilai yang dihasilkan oleh *dial steadiness* yang memiliki nomor penyesuaian 23.740 lbf/div.

Angka tersebut sebanding dengan $23.740 \times 0.4536 = 10.768$ kg/div, maka nilai stabilitas dikoreksi dengan ketebalan benda uji. Sementara itu, nilai *flow* hanya dikalikan dengan 0,01 dari pembacaan dial *flow*.

Benda uji adalah campuran 1000 gram dengan struktur 25% LGA dan 3% bahan peremaja dari benda uji. Varietas masing-masing benda uji menggunakan suhu pemadatan 25 °C, 50 °C, 75 °C, dan 100°C dengan waktu pemeraman 1 hari, 3 hari, 5 hari, dan 9 hari dan pemeriksaan analisis ANOVA Dua Arah beserta instrumennya untuk mewujudkan reaksi yang terjadi karena variasi tertentu. Berikutnya adalah ikhtisar *stability*, *flow*, VIM, VMA, dan VFB dari setiap jenis benda uji.

4.4.1 Hasil Pengujian Stabilitas

Nilai stabilitas masing-masing menyajikan sampel uji pada Tabel 4.5. Sedangkan nilai *mean* pada *stability* dari setiap variasi dilihat pada Tabel 4.6;

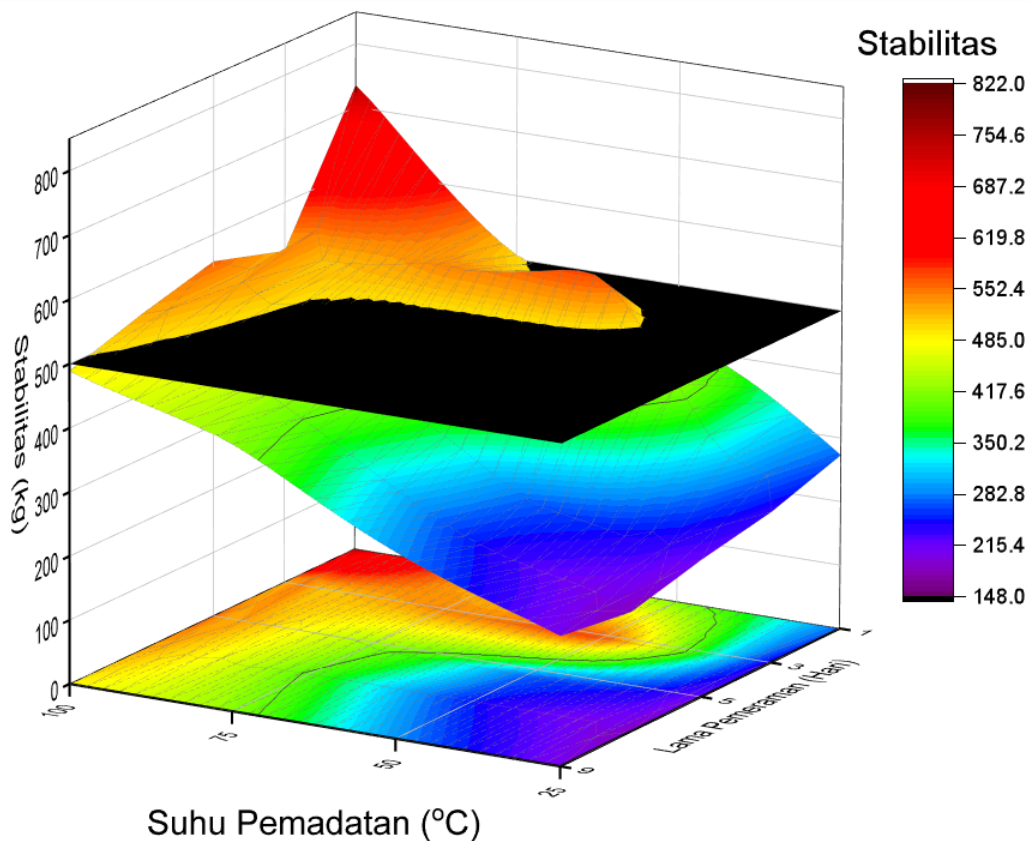
Tabel 4.5 Rekapitulasi Stabilitas Benda Uji Setiap Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman

		Stabilitas (kg)			
		Suhu Pemadatan			
Lama Pemeraman		25°C	50°C	75°C	100°C
		1 Hari		282,73	481,59
	247,7		359,28	553,47	665,57
	296,51		377,76	497,57	746,81
3 Hari		249,04	555,76	571,83	406,68
		180,53	523,86	567,12	482,48
		260,43	707,87	513,69	640,33
5 Hari		180,83	278,85	413,3	631,33
		245,32	265,25	408,38	590,97
		225,61	321,67	453,12	469,81
9 Hari		168,93	286,49	295,66	556,68
		291	290,98	556,68	460,4
		148,82	291,91	403,93	444,16

Tabel 4.6 Nilai Stabilitas Rata-Rata

Lama Pemeraman	Suhu Pemadatan			
	25	50	75	100
1	275,65	446,13	499,98	744,58
3	230	595,83	550,88	509,83
5	217,25	288,59	424,93	564,04
9	202,92	289,79	418,76	487,08

Terlihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 bahwa setiap variasi suhu pemadatan dan waktu lama pemeraman mempengaruhi nilai *stability*, dengan nilai stabilitas paling tinggi berada pada 100 °C dan waktu pemeraman 1 hari sedangkan nilai yang paling sedikit pada 25 °C dan waktu pemeraman 9 hari. Stabilitas yang paling tinggi pada pemeraman suhu 25°C adalah 202,92 kg sedangkan stabilitas tertinggi yang paling tinggi pada suhu 100 °C adalah 744,58 kg. Nilai *stability* yang tinggi karena suhu pemadatan yang besar dan waktu pemeraman yang singkat disebabkan oleh mudahnya aspal dalam memenuhi rongga-rongga pada campuran karena nilai kekentalannya yang rendah, sehingga aspal lebih mudah untuk mencakup setiap agregat dalam benda uji dan menyebabkan benda uji menjadi lebih padat. Secara grafis, kekuatan yang dihasilkan dalam tinjauan ini dapat ditemukan pada Gambar 4.1.



Persyaratan stabilitas min. 500 kg

Gambar 4.1 Grafik 3D Surface Stabilitas Akibat Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman

Pemeraman

4.4.2 Hasil Pengujian Flow

Flow adalah nilai deformasi yang terjadi akibat tekanan yang diberikan dari awal sampai kondisi pembacaan dial stabilitas menurun dimana deformasi terjadi pada lapisan permukaan saat benda uji mencapai beban maksimumnya. Nilai aliran diperoleh dengan mengalikan pembacaan aliran *dial* dengan 0,01 sehingga diperoleh nilai aliran dalam mm.

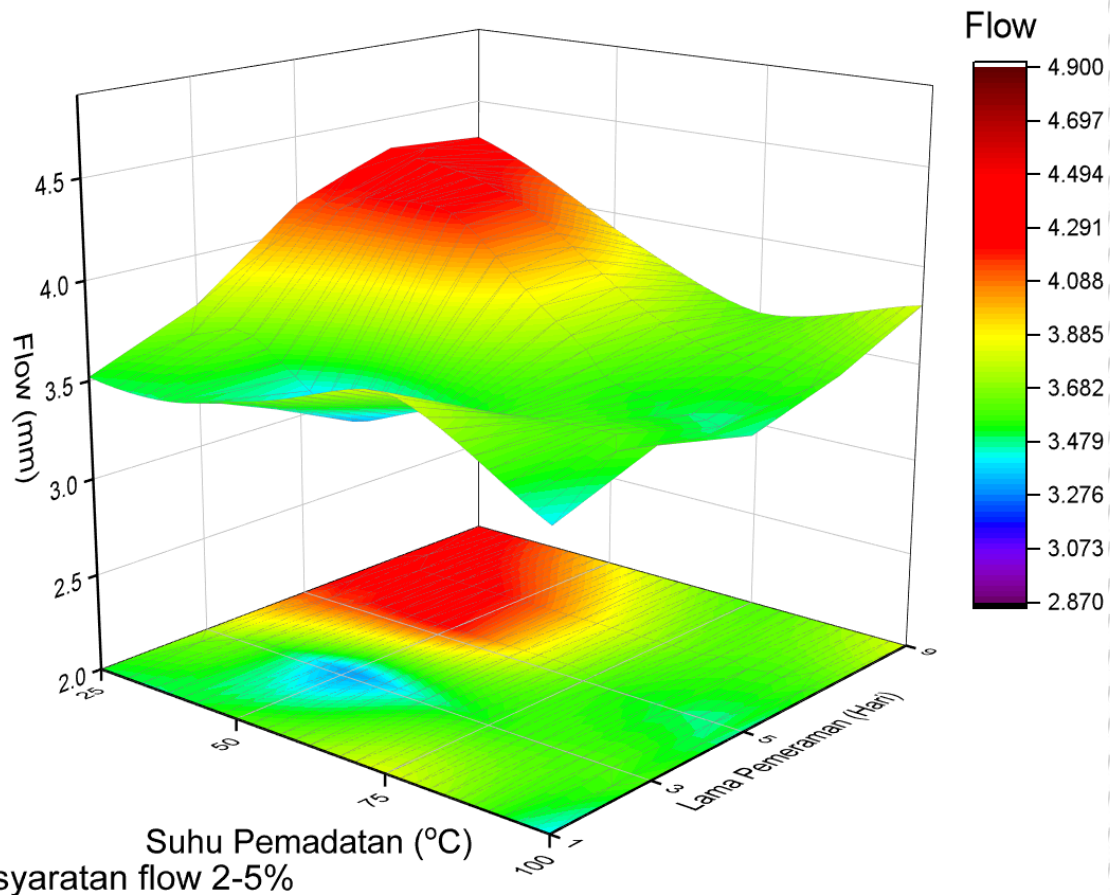
Tabel 4.7 Rekapitulasi Flow Setiap Variasi Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman

		Flow (mm)			
		Suhu			
Lama Pemeraman		25°C	50°C	75°C	100°C
	1 Hari		4,41	4,22	3,26
		2,92	2,92	4,4	3,37
3 Hari		3,21	3,65	3,84	3,45
		4,16	3,34	3,56	3,55
5 Hari		3,31	2,96	2,87	3,53
		3,78	3,34	4,2	3,74
9 Hari		4,17	4,9	3,19	3,68
		3,84	4,3	3,2	3,03
9 Hari		4,43	3,4	4,4	3,65
		4,72	4	3,9	4,23
9 Hari		4,89	3,5	3,11	3,98
		3,29	4,23	3,77	3,23

Tabel 4.8 Nilai Flow Rata-Rata

Lama Pemeraman	Suhu Pematatan			
	25	50	75	100
1	3,51	3,6	3,83	3,39
3	3,75	3,21	3,54	3,61
5	4,15	4,2	3,6	3,45
9	4,3	3,91	3,59	3,81

Pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 terlihat bahwa nilai aliran terbesar terjadi pada lama pemeraman 9 hari pada suhu 25°C. Perbedaan nilai aliran semakin berkurang di 3 hari lama pemeraman pada suhu 50°C dan 75°C. Bina Marga mensyaratkan nilai insentif bagi CPHMA berada pada *time frame* 2-5% sedangkan nilai *flow* dalam tinjauan ini telah memenuhi kebutuhan dengan nilai paling rendah sebesar 3,21 dan paling tinggi sebesar 4,3.



Gambar 4. 2 Grafik 3D Surface Flow Akibat Variasi Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman

4.4.4 Hasil Pengujian VIM

Hasil dari nilai VIM (Void In Mix) diperoleh dari nilai berat eksplisit terbesar dan nilai berat jenis *bulk* diperoleh dari berat kering yang di bagi dengan volume benda uji sedangkan berat jenis maksimum diperoleh dari nilai BJ Asbuton, BJ Agregat, kadar aspal, dan kadar agregat campuran. Dalam hal nilai VIM terlalu besar maka benda uji kurang tahan air, sehingga mempercepat pematangan dan mengurangi sifat oposisi, sedangkan jika nilai VIM terlalu kecil benda uji tidak sulit untuk dikeringkan atau aspal mengalami *bleeding*.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Nilai VIM Setiap Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman

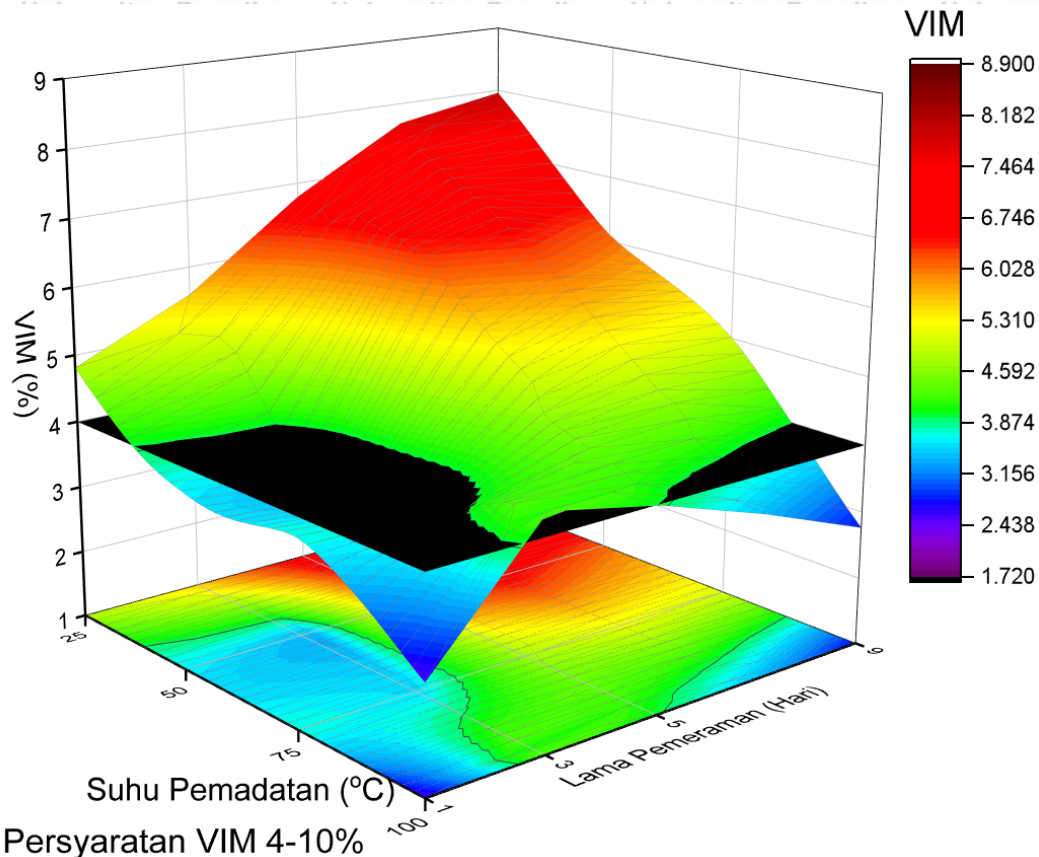
Lama Pemeraman	Suhu			
	25°C	50°C	75°C	100°C
1 Hari	4,93	3,39	4	1,73
	5,29	4,07	2,76	3,31
3 Hari	4,18	3,57	4,59	2,39
	4,81	3,36	3,68	4,94
5 Hari	7,48	3,57	3,06	4,34
	4,51	2,42	3,71	4,05
5 Hari	7,83	6,66	5	3,07

	6,35	6,77	4,43	3,77
	6,16	5,03	4,72	5,02
9 Hari	8,61	5,93	4,98	2,82
	6,42	6,05	4,78	3,61
	8,89	6,19	5,37	1,78

Tabel 4.10 Nilai VIM Rata-Rata

Lama Pemeraman	Suhu Pematatan			
	25	50	75	100
1	4,8	3,68	3,78	2,48
3	5,6	3,12	3,48	4,44
5	6,78	6,15	4,72	3,95
9	7,97	6,06	5,04	2,74

Pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 cenderung terlihat bahwa nilai VIM yang paling menonjol sebesar 7,97% berada pada suhu 25°C dengan waktu pemeraman 9 hari dan nilai VIM terkecil sebesar 2,48% berada pada suhu 100°C, dengan waktu pemeraman 1 hari. Hal ini cenderung dianggap bahwa semakin tinggi suhu pematatan dan semakin terbatas waktu pemeraman maka semakin rendah nilai VIM. Varietas yang memenuhi kebutuhan tertentu terdapat pada suhu 25°C, 50°C, dan 75°C, sedangkan pada 100°C banyak yang tidak memenuhi syarat, sesuai persyaratan 4-10%. Nilai VIM yang kecil menunjukkan bahwa volume yang tidak terisi agregat dan aspal dalam kombinasi sedikit.



Gambar 4.3 Grafik 3D Surface Pengaruh Variasi Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai VIM

4.4.5 Hasil Pengujian VMA

VMA adalah rongga agregat dalam campuran yang dipadatkan. Hasil VMA didapat dari agregat campuran dikalikan dengan berat jenis campuran dan dibagi dengan berat jenis agregat, kemudian hasil tersebut di kurangi dengan 100% dalam satuan %. VMA masing-masing benda uji disajikan pada Tabel 4.11. Sedangkan VMA normal setiap varietas diamati pada Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Rekapitulasi VMA Setiap Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman

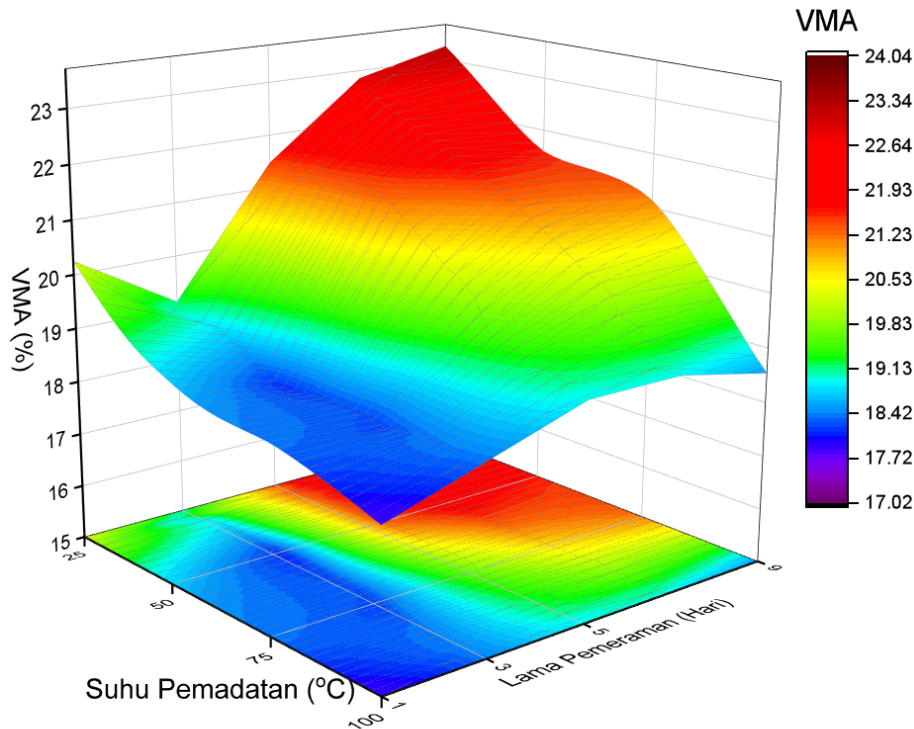
Lama Pemeraman	VMA %			
	25°C	50°C	75°C	100°C
1 Hari	20,27	18,07	18,61	17,04
	21,37	19,38	17,56	18,04
	19,31	18,92	19,12	18,4
3 Hari	17,76	18,09	18,84	18,46
	20,56	18,46	17,52	18,46
	18,71	17,18	18,19	18,31

5 Hari	22,99	21,46	19,99	18,35
	20,47	21,86	19,4	18,32
	21,11	19,9	19,41	20,23
9 Hari	23,98	21,49	20,37	19,72
	21,83	21,54	21,78	18,72
	24,03	21,58	21,45	17,08

Tabel 4.12 Nilai VMA Rata-Rata

Lama Pemeraman	Suhu Pemadatan			
	25	50	75	100
1	20,32	18,79	18,43	17,82
3	19,01	17,91	18,18	18,41
5	21,52	21,07	19,6	18,97
9	23,28	21,54	21,2	18,5

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat dengan jelas bahwa nilai VMA terbesar pada 23,28% berada pada suhu 25°C dengan lama pemeraman 9 hari dan nilai VMA terkecil sebesar 17,82% berada pada suhu 100°C dengan lama pemeraman 1 hari. Hal ini cenderung disimpulkan bahwa ketika suhu pemadatan meningkat nilai VMA berkurang, apabila nilai VMA berkurang rongga dalam agregat semakin berkurang bersamaan dengan kenaikan *compaction temperature*. Kebutuhan Bina Marga untuk nilai VMA senilai 16% sehingga nilai *mean* dalam tes memenuhi syarat.



Persyaratan standar VMA min.16%

Gambar 4.4 Grafik 3D *Surface* VMA Akibat Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman

4.4.6 Hasil Pengujian VFB

VFB adalah rongga yang terisi aspal. VFB merupakan bagian dari isi rongga dalam agregat (VMA). VFB masing-masing *sample* uji diamati pada Tabel 4.13. Sedangkan VFB *mean* dari setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 4.14.

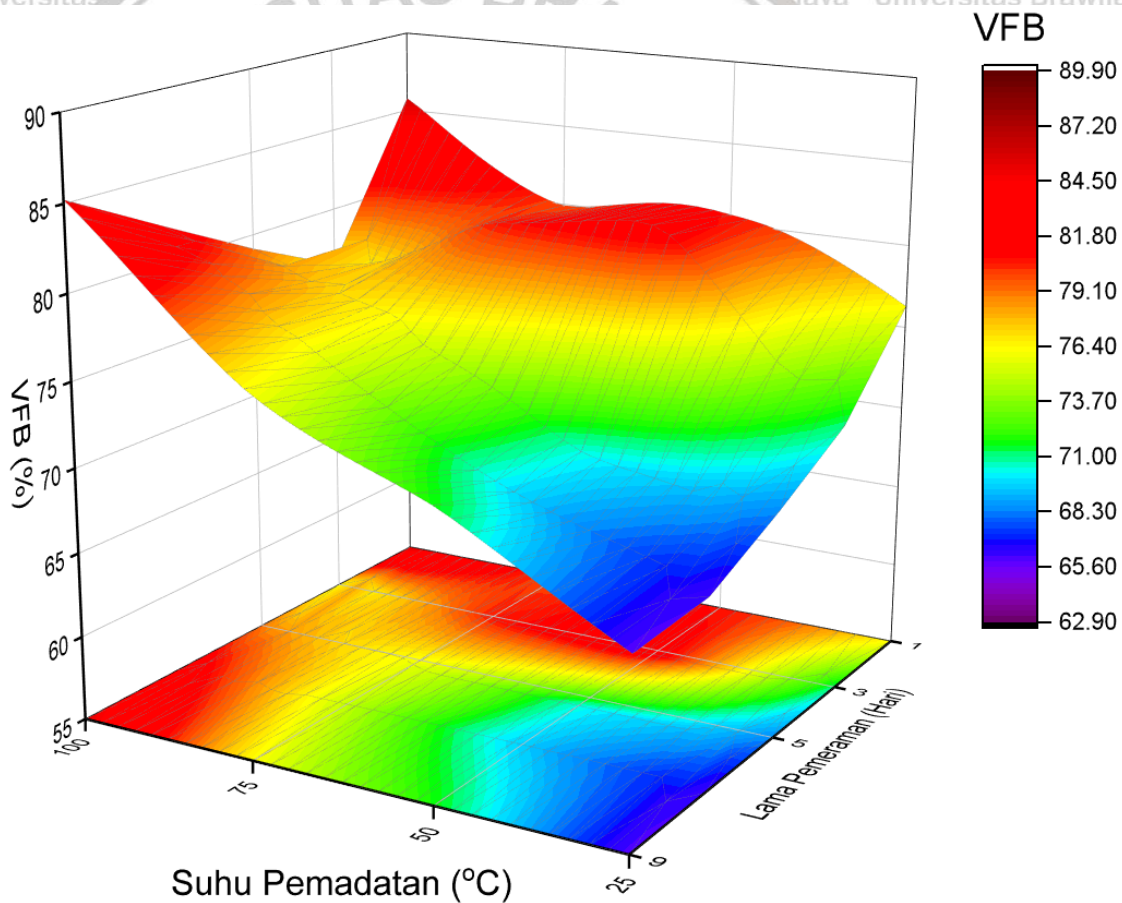
Tabel 4.13 Rekapitulasi VFB Setiap Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman

		VFB %			
Lama Pemeraman		Suhu			
		25°C	50°C	75°C	100°C
1 Hari		75,68	81,23	78,52	89,83
		75,22	79,01	84,29	81,63
		78,34	81,11	76	87
3 Hari		72,91	81,44	80,47	73,25
		63,61	80,64	82,53	76,46
		75,88	85,94	79,62	77,89
5 Hari		65,95	68,96	74,98	83,27
		68,97	69,04	77,17	79,44
		70,82	74,73	75,67	75,17
9 Hari		64,11	72,4	75,53	85,72
		70,6	71,9	78,04	80,69
		62,99	71,31	74,94	89,57

Tabel 4.14 Nilai VFB Rata-Rata

Lama Pemeraman	Suhu Pematatan			
	25	50	75	100
1	76,41	80,45	79,6	86,15
3	70,8	82,67	80,87	75,87
5	68,58	70,91	75,94	79,29
9	65,9	71,87	76,17	85,33

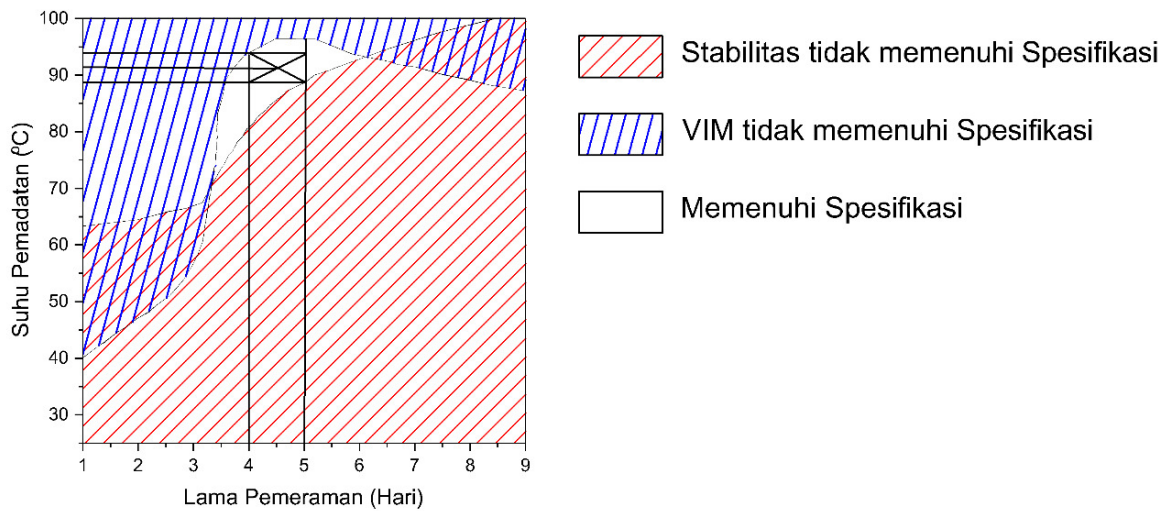
Pada Gambar 4.14 dapat dilihat dengan jelas bahwa nilai VFB terbesar berada pada suhu 100 °C dengan waktu pemeraman 1 hari dengan nilai 86,15% sedangkan nilai terkecil adalah pada suhu 25 °C dengan waktu pemeraman 9 hari dengan nilai 65,9%. Kenaikan nilai VFB bergantung pada kenaikan suhu pematatan. Kebutuhan Bina Marga untuk basis VFB senilai 60%, nilai VFB dalam pengujian memenuhi syarat.



Persyaratan standar VFB min.60%

Gambar 4.5 Grafik 3D Surface Suhu Pematatan dan Lama Pemeraman terhadap VFB.

4.4.7 Variasi yang Memenuhi Spesifikasi



Gambar 4.6 Area Variasi yang Memenuhi Spesifikasi Bina Marga

Pada Gambar 4.6 cenderung ditemukan bahwa nilai stabilitas dan VIM memiliki daerah-daerah yang tidak masuk dari penetapan Bina Marga, sedangkan pada daerah nilai dari VFB, VMA, dan *flow* tidak memiliki daerah arsiran karena semua varietas memenuhi spesifikasi. Kemudian dari wilayah konsolidasi terlihat sangat jelas bahwa yang memenuhi penentuan berada pada lingkup varietas pada lama pemeraman 4-5 hari dengan lingkup suhu pematatan 88-94°C.

4.5 Pengujian Hipotesis Statistik ANOVA Dua Arah

4.5.1 Pengujian Normalitas Standardized Residual

Tabel 4.15 Tabel Uji Normalitas Standardized Residual

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Stdzd. Residual for Stabilitas	0,094	48	0,200*	0,979	48	0,535
Stdzd. Residual for Flow	0,099	48	0,200*	0,982	48	0,643
Stdzd. Residual for VMA	0,083	48	0,200*	0,979	48	0,551
Stdzd. Residual for VFB	0,064	48	0,200	0,982	48	0,668
Stdzd. Residual for VIM	0,122	48	0,070	0,963	48	0,138

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

a. Lilliefors Significance Correction

Hasil dari uji normality dapat diperoleh dari hasil Kolmogorov-Smirnov yang ditampilkan pada Tabel 4.15 terlihat bahwa semua *residual* karakteristik Marshall memiliki nilai kritis $\geq 0,05$. Jadi dapat dikatakan bahwa bahan yang digunakan berdistribusi normal disesuaikan dan uji ANOVA dapat dilakukan.

4.5.2 Pengujian Anova Two Way Akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Variabel Bebas

Uji Two Way Anova adalah sejenis uji terukur untuk memutuskan apakah spekulasi yang diajukan diakui atau ditolak, dengan melihat perbedaan atau fluktuasi antara dua faktor bebas (*independent*) dengan satu variabel terikat (*dependent*). Variabel terikat yang digunakan dalam tinjauan ini adalah suhu pemadatan dan lama pemeraman, sedangkan variabel terikat adalah kualitas Marshall, termasuk nilai *stability*, *flow*, VIM, VMA, MQ dan VFB. Perhitungan yang dicoba pada penelitian ini menggunakan program SPSS dengan nilai *error* = 0,05 atau 5%. Dalam uji ANOVA terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi, khususnya: nilai standardized residual memiliki distribusi normal, memiliki varian data yang sama atau homogen, antar populasi saling independen, dan jenis data variabel dependennya berskala interval atau rasio, sehingga pengujian hipotesis valid dilakukan. Formula hipotesis dapat dilihat sebagai berikut.

Formula Perumusan Hipotesis :

- $H_0^1 : \mu\alpha_1 = \mu\alpha_2 = \dots = \mu\alpha_i$
 $H_1^1 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\alpha_i \text{ yang tidak sama dengan } 0$
- $H_0^2 : \mu\beta_1 = \mu\beta_2 = \dots = \mu\beta_i$
 $H_1^2 : \text{paling sedikit satu pasang } \mu\beta_i \text{ yang tidak sama dengan } 0$
- $H_0^3 : (\mu\beta)_{11} = (\mu\beta)_{12} = \dots = (\mu\beta)_{ij}$
 $H_1^3 : \text{paling sedikit satu pasang } (\mu\beta)_{ij} \text{ yang tidak sama dengan } 0$

Dimana:

- a. H_0^1 : Hipotesis nol, spekulasi yang tidak valid, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata atau nilai sama dari nilai faktor atau variabel independen suhu pemadatan terhadap nilai stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA dan VFB.
- H_1^1 : Hipotesis alternatif, spekulasi elektif, menyatakan bahwa ada rata-rata atau nilai tidak sama dari nilai faktor atau variabel independen suhu pemadatan terhadap nilai stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA dan VFB.

b. H_0^2 : Hipotesis nol, spekulasi yang tidak valid, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata atau nilai sama dari nilai faktor atau variabel independen lama pemeraman terhadap nilai stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA dan VFB.

H_1^2 : Hipotesis alternatif, spekulasi elektif, menyatakan bahwa ada perbedaan rata-rata atau nilai tidak sama dari nilai faktor atau variabel independen lama pemeraman terhadap nilai stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA dan VFB.

c. H_0^3 : Hipotesis nol, spekulasi yang tidak valid, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan perbedaan rata-rata atau nilai sama dari nilai faktor atau variabel independen suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap nilai stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA dan VFB.

H_1^3 : Hipotesis alternatif, spekulasi elektif, menyatakan bahwa ada rata-rata atau nilai tidak sama dari nilai faktor atau variabel independen suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap nilai stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA dan VFB.

Persyaratan Pengujian:

- H_0 diterima jika nilai signifikan \geq taraf nyata $\alpha_{0,05}$
- H_0 ditolak jika nilai signifikan $<$ taraf nyata $\alpha_{0,05}$

Untuk keperluan input data pada aplikasi SPSS maka dilakukan notasi pada masing-masing variabel bebas sesuai dengan Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Notasi Setiap Variasi Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman

Suhu	Simbol	Lama pemeraman	Tanda Simbol
25°C	S1	1 Hari	L1
50°C	S2	3 Hari	L2
75°C	S3	5 Hari	L3
100°C	S4	9 Hari	L4

4.5.3 Hasil Analisis Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Stabilitas

Tabel 4.17 Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel Stabilitas

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Stabilitas	Based on Mean	2,152	15	32	0,034
	In view of Middle	0,688	15	32	0,777

In view of Middle and with changed df	0,688	15	17,822	0,765
In view of managed mean	2,014	15	32	0,047

Berdasarkan Tabel 4.17 memperoleh hasil signifikan sebesar $0,034 < 0,05$ sehingga nilai stabilitas antar grup tidak homogen.

Tabel 4.18 Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Stabilitas

Trial of Between-Subjects Impacts					
Subordinate Variable: Stabilitas					
Source	Type III Amount of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	111811,691 ^a	15	74541,179	15,483	0,000
Intercept	8432744,723	1	8432744,723	1751,538	0,000
Suhu_Pemadatan	761981,298	3	253993,766	52,756	0,000
Lama_Pemeraman	162631,164	3	54210,388	11,260	0,000
Suhu_Pemadatan * Lama_Pemeraman	193505,229	9	21500,581	4,466	0,001
Error	154063,333	32	4814,479		
Total	9704925,747	48			
Corrected Total	1272181,024	47			

a. R Squared = .879 (Adjusted R Squared = .822)

Pengujian Hipotesis:

1. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0^1 tidak di setujui sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh suhu pemadatan terhadap nilai *stability*.
2. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0^2 di setujui sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* dari hasil lama pemeraman terhadap nilai stabilitas.
3. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,001 < 0,05$ maka H_0^3 tidak di setujui sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* dari hasil suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap nilai stabilitas.

Menentukan Nilai Signifikasi BNT atau Uji LSD =

$$t(0,05; 32) \times \frac{\sqrt{2(KTG)}}{\text{Jumlah Ulangan}} = 1,694 \times \frac{\sqrt{2(4814,479)}}{3} = 55,40919$$

Pada Tabel 4.18 dapat dilihat dengan sangat jelas bahwa suhu pemadatan, waktu pemeraman, dan hubungan antara suhu pemadatan dan waktu pemeraman memiliki nilai kritis $< 0,5$, yang menyiratkan bahwa masing-masing dari ketiganya mempengaruhi *stability*. Nilai koefisien determinansi (R^2) berada di angka 0,880 menunjukkan bahwa suhu

pemadatan dan waktu pemeraman (faktor bebas) sangat mempengaruhi *stability* (*variable dependent*).

Terlihat pada Tabel 4.19 bahwa nilai interaksi antara suhu pemadatan dan waktu pemeraman mempengaruhi nilai *stability* dengan nilai 1,694 yang diperoleh dari titik laju penyebaran t , jika nilai stabilitas tidak sama dengan nilai BNT (Beda Nyata Terkecil) dengan nilai yang sama atau tidak dapat terlihat dari kotak yang sama. Hasil interaksi paling berpengaruh adalah S4L1 (suhu penyemenan 100 °C dengan waktu pemulihan 1 hari).

Tabel 4.19 Kelompok Rata-Rata Stabilitas

Suhu dan Lama Pemeraman	Rata-Rata Stabilitas			
	1	2	3	4
S1L4	202,9167			
S1L3	217,2533			
S1L2	230,0000			
S1L1	275,6467			
S2L3	288,5900			
S2L4	289,7933			
S3L4		418,7567		
S3L3		424,9333		
S2L1		446,1300		
S4L4		487,0800	487,0800	
S3L1		499,9767	499,9767	
S4L2		509,8300	509,8300	
S3L2			550,8800	
S4L3			564,0367	
S2L2			595,8300	
S4L1				744,5800

4.5.4 Hasil Analisis Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Flow

Tabel 4.20 Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel Flow

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Flow	Based on Mean	1,669	15	32	0,110
	In view of Middle	0,432	15	32	0,956
	In view of Middle and with changed df	0,432	15	15,922	0,944
	In view of managed mean	1,544	15	32	0,148

Berdasarkan Tabel 4.20 Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,110 > 0,05$ sehingga variabel *flow* antar grup homogen.

Tabel 4.21 Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Flow

Dependent Variable: Flow

Source	Type III Amount of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4,131 ^a	15	0,275	0,938	0,536
Intercept	662,905	1	662,905	2256,857	0,000
Suhu_Pemadatan	0,876	3	0,292	0,994	0,408
Lama_Peram	1,272	3	0,424	1,443	0,249
Suhu_Pemadatan *	1,984	9	0,220	0,750	0,661
Lama_Peram					
Error	9,399	32	0,294		
Total	676,435	48			
Corrected Total	13,531	47			

a. R Squared = 0,305 (Adjusted R Squared = -0,020)

Hipotesis:

1. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,408 \geq 0,05$ maka H_0^1 di setuju sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada *effect* hasil suhu pemadatan terhadap nilai *flow*.
2. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,249 \geq 0,05$ maka H_0^2 di setuju sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada *effect* lama pemeraman terhadap nilai *flow*.
3. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,661 \geq 0,05$ maka H_0^3 di setuju sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada *effect* antara hasil suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap nilai *flow*.

Menentukan Nilai Signifikasi BNT atau Uji LSD =

$$t(0,05; 32) \times \frac{\sqrt{2(KTG)}}{\text{Jumlah Ulangan}} = 1,694 \times \frac{\sqrt{2(0,294)}}{3} = 0,432793$$

Pada Tabel 4.21 cenderung terlihat bahwa nilai *mean* waktu pemeraman memiliki nilai lebih kritis untuk *flow*, sedangkan suhu pemadatan memiliki nilai yang lebih sederhana dan nilai *mean* dari perlakuan suhu pemadatan dengan waktu pemeraman memiliki nilai yang lebih sederhana daripada waktu pemeraman meskipun selisihnya sedikit. Kemudian nilai *mean* dari hubungan lebih besar lama pemeraman dibandingkan dengan suhu pemadatan dan perlakuan antara suhu pemadatan dan waktu pemeraman. Besarnya nilai F terletak pada hubungan antara waktu pemeraman yang lebih besar mempengaruhi *flow*, sedangkan nilai F pada suhu pemadatan dan perlakuan suhu pemadatan dengan waktu pemeraman memiliki dampak yang lebih kecil daripada perlakuan waktu pemeraman pada *flow*. Dapat

disimpulkan bahwa hasil nilai hipotesis H_0^1 , H_0^2 dan H_0^3 diterima tidak ada pengaruh dengan hasil nilai yang sama sehingga tidak dilakukan uji BNT atau uji LSD.

4.5.5 Hasil Analisis Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai MQ

Tabel 4. 22 Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap MQ

Trial of Between-Subjects Impacts					
Dependent Variable: MQ					
Source	Type III Amount of Squares	Df	Unl Mean Square	Faya	Sig.
Corrected Model	113146,943 ^a	15	7543,130	13,744	0,000
Intercept	656536,249	1	656536,249	1196,255	0,000
Lama_Pemeraman	18887,115	3	6295,705	11,471	0,000
Suhu_Pemadatan	68012,516	3	22670,839	41,308	0,000
Lama_Pemeraman * Suhu_Pemadatan	26247,312	9	2916,368	5,314	0,000
Error	17562,442	32	548,826		
Total	787245,634	48			
Corrected Total	130709,384	47			

a. R Squared = 0,866 (Adjusted R Squared =0,803)

Hipotesis:

1. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0^1 tidak di setujui sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil suhu pemadatan terhadap nilai MQ.
2. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0^2 tidak di setujui sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil lama pemeraman terhadap nilai MQ.
3. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0^3 tidak di setujui sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap nilai MQ.

4.5.6 Hasil Analisis Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai VMA

Tabel 4. 23 Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel VMA

		Levene	df1	df2	Sig.
		Statistic			
vma	Based on Mean	1,861	15	32	0,069
	In view of Middle	0,462	15	32	0,943
	In view of Middle and with changed df	0,462	15	17,736	0,931
	In view of managed mean	1,713	15	32	0,099

Berdasarkan Tabel 4.23 Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,069 \geq 0,05$ sehingga variabel VMA antar grup homogen.

Tabel 4. 24 Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap VMA

Trial of Between-Subjects Impacts					
Dependent Variable: VMA					
Source	Type III Amount of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	118,8172	15	7,92115	9,3748	0,000
Intercept	18553,142	1	18553,142	21927,890	0,000
Lama_Pemeraman	58,51883	3	19,50628	23,08598	0,000
Suhu_Pemadatan	42,33683	3	14,11228	16,7021	0,000
Lama_Pemeraman * Suhu_Pemadatan	17,96154	9	1,99573	2,36197	0,036
Error	27,03809	32	0,84494		
Total	18698,933	48			
Corrected Total	145,85529	47			

a. R Squared = 0,814 (Adjusted R Squared = 0,727)

Hipotesis:

1. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0^1 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh hasil suhu pemadatan terhadap nilai VMA.
2. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0^2 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh hasil lama pemeraman terhadap nilai VMA.
3. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,036 < 0,05$ maka H_0^3 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh hasil suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap nilai VMA.

Menentukan Nilai Signifikansi BNT atau Uji LSD =

$$t(0,05; 32) \times \frac{\sqrt{2(KTG)}}{\text{Jumlah Ulangan}} = 1,694 \times \frac{\sqrt{2(0,8449)}}{3} = 0,734023$$

Tabel 4. 25 Kelompok Rata-Rata VMA

Suhu dan Lama Pemeraman	Rata-Rata VMA					
	1	2	3	4	5	6
S4L1	17,824					
S2L2	17,911					
S3L2	18,180	18,180				
S4L2	18,412	18,412				
S3L1	18,429	18,429				
S4L4	18,504	18,504				
S2L1	18,788	18,788	18,788			
S4L3	18,969	18,969	18,969			
S1L2	19,009	19,009	19,009			
S3L3		19,597	19,597	19,597		
S1L1			20,317	20,317	20,317	
S2L3				21,072	21,072	
S3L4					21,198	
S1L3					21,524	
S2L4					21,537	
S1L4						23,283

Pada Tabel 4.24 dilihat bahwa nilai *mean* suhu pemadatan dan lama pemeraman mempunyai nilai yang lebih signifikan dan sama terhadap VMA dibandingkan perlakuan suhu pemadatan dengan lama pemeraman, maka nilai rata-rata interaksi suhu pemadatan dan lama pemeraman mempunyai nilai yang sama, Namun besarnya nilai F berada di interaksi suhu pemadatan yang mempunyai pengaruh lebih besar terhadap VMA, sedangkan untuk nilai F pada lama pemeraman dan perlakuan suhu pemadatan dengan lama pemeraman mempunyai pengaruh yang lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan suhu pemadatan terhadap VMA.

Pada Tabel 4.25 dapat dilihat bahwa hubungan antara suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap VMA berpengaruh. Nilai bantu digunakan dengan tujuan untuk mendapatkan pengaruh dari pengelompokan suhu pemadatan dan lama pemeraman. Hubungan yang paling berpengaruh berada di S1L4 (Suhu Pemadatan 25°C dan Lama Pemeraman 9 Hari).

4.5.7 Hasil Analisis Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai VFB

Tabel 4. 26 Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel VFB

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VFB	Based on Mean	1,986	15	32	0,051
	In view of Middle	0,564	15	32	0,880
	In view of Middle and with changed df	0,564	15	16,113	0,863
	In view of managed mean	1,844	15	32	0,072

Berdasarkan Tabel 4.26 Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,051 \geq 0,05$ sehingga variabel VFB antar grup homogen.

Tabel 4. 27 Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap VFB

Trial of Between-Subjects Impacts					
Dependent Variable: VFB					
Source	Type III Amount of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1565,890 ^a	15	104,393	9,756	0,000
Intercept	282205,405	1	282205,405	26372,740	0,000
Lama_Pemeraman	348,364	3	116,121	10,852	0,000
Suhu_Pemadatan	793,668	3	264,556	24,723	0,000
Lama_Pemeraman *	423,858	9	47,095	4,401	0,001
Suhu_Pemadatan					
Error	342,421	32	10,701		
Total	284113,715	48			
Corrected Total	1908,310	47			

a. R Squared = 0,821 (Adjusted R Squared = 0,736)

Hipotesis:

1. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka tidak di setujui H_0^1 sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil suhu pemadatan terhadap nilai VFB.
2. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka tidak di setujui H_0^2 sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil lama pemeraman terhadap nilai VFB.
3. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,001 < 0,05$ maka tidak di setujui H_0^3 sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap nilai VFB.

Menentukan Nilai Signifikansi BNT atau Uji LSD =

$$t(0,05; 32) \times \frac{\sqrt{2(KTG)}}{\text{Jumlah Ulangan}} = 1,694 \times \frac{\sqrt{2(10.701)}}{3} = 2,612278$$

Tabel 4. 28 Kelompok Rata-Rata VFB

Suhu dan Lama Pemeraman	Rata-Rata VFB							
	A	B	C	D	E	F	G	H
S1L4	65,90							
S1L3	68,58	68,58						
S1L2	70,80	70,80	70,80					
S2L3	70,91	70,91	70,91					
S2L4		71,87	71,87	71,87				
S4L2			75,87	75,87	75,87			
S3L3			75,94	75,94	75,94			
S3L4			76,17	76,17	76,17			
S1L1				76,41	76,41			
S4L3					79,29	79,29		
S3L1					79,60	79,60		
S2L1					80,45	80,45	80,45	
S3L2					80,87	80,87	80,87	80,87
S2L2						82,67	82,67	82,67
S4L4							85,33	85,33
S4L1								86,15

Terlihat pada Tabel 4.28 bahwa nilai hubungan antara suhu pemadatan dan waktu pemeraman mempengaruhi nilai VFB, menyiratkan bahwa nilai *mean* VFB terletak pada kotak yang tidak sama atau berpengaruh, cara mendapatkan kelompok seperti pada Tabel 4.28 dengan mencoba BNT (Beda Nyata Terkecil) terlebih dahulu kemudian nilai yang kurang atau sama dengan nilai BNT dirangkai dalam kotak yang sama. Dapat disimpulkan bahwa nilai VFB memiliki dampak terbesar pada nilai S4L1 (Suhu 100°C dan lama pemeraman 1 hari).

4.5.8 Hasil Analisis Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap Nilai VIM

Tabel 4. 29 Hasil Uji Homogenitas Lavene pada Variabel VIM

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VIM	Based on Mean	2,725	15	32	0,008
	In view of Middle	0,435	15	32	0,955
	In view of Middle and with changed df	0,435	15	12,102	0,935
	In view of managed mean	2,425	15	32	0,017

Berdasarkan Tabel 4.29 Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,008 < 0,05$ sehingga variabel VIM antar grup tidak homogen.

Tabel 4. 30 Uji Anova akibat Suhu Pemadatan dan Lama Pemeraman terhadap VIM

Trial of Between-Subjects Impacts					
Dependent Variable: VIM					
Source	Type III Amount of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	105,653 ^a	15	7,044	10,285	0,000
Intercept	1048,883	1	1048,883	1531,631	0,000
Lama_Pemeraman	28,529	3	9,510	13,887	0,000
Suhu_Pemadatan	52,834	3	17,611	25,717	0,000
Lama_Pemeraman * Suhu_Pemadatan	24,289	9	2,699	3,941	0,002
Error	21,914	32	0,685		
Total	1176,450	48			
Corrected Total	127,567	47			

a. R Squared = .828 (Adjusted R Squared = .748)

Hipotesis:

1. Didapatkan hasil *significant* $0,000 < 0,05$ maka H_0^1 tidak di setujui sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil suhu pemadatan terhadap nilai VIM.
2. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,000 < 0,05$ maka tidak di setujui H_0^2 sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil lama pemeraman terhadap nilai VIM.
3. Didapatkan hasil *significant* sebesar $0,002 < 0,05$ maka H_0^3 tidak di setujui sehingga dapat disimpulkan bahwa ada *effect* hasil suhu pemadatan dan lama pemeraman terhadap nilai VIM.

Menentukan Nilai Signifikasi BNT atau Uji LSD =

$$t(0,05; 32) \times \frac{\sqrt{2(KTG)}}{\text{Jumlah Ulangan}} = 1,694 \times \frac{\sqrt{2(0,68503)}}{3} = 0,6609$$

Tabel 4. 31 Kelompok Rata-Rata VIM

Suhu dan Lama Pemeraman	Rata-Rata VIM									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S4L1	2,47929									
S4L4	2,73708	2,73708								
S2L2	3,11562	3,11562	3,11562							

S3L2	3,48222	3,48222	3,48222	3,48222					
S2L1	3,67749	3,67749	3,67749	3,67749	3,67749				
S3L1	3,78151	3,78151	3,78151	3,78151	3,78151				
S4L3	3,95391	3,95391	3,95391	3,95391	3,95391				
S4L2		4,44443	4,44443	4,44443	4,44443				
S3L3			4,7167	4,7167	4,7167	4,7167			
S1L1			4,80269	4,80269	4,80269	4,80269	4,80269		
S3L4				5,04685	5,04685	5,04685	5,04685		
S1L2					5,60109	5,60109	5,60109	5,60109	
S2L4						6,0587	6,0587	6,0587	
S2L3							6,15184	6,15184	
S1L3								6,78008	6,78008
S1L4									7,97437

Pada Tabel 4.30 cenderung terlihat bahwa perbedaan nilai *mean* temperatur pemadatan memiliki nilai yang lebih kritis pada VIM. Manfaat nilai *mean* dari waktu pemeraman lebih sederhana daripada suhu pemadatan untuk VIM. Nilai *mean* dari hubungan antara suhu pemadatan dan waktu pemeraman lebih kecil dari perlakuan suhu pemadatan dan waktu pemeraman pada nilai VIM. Hal ini cenderung disimpulkan bahwa besarnya harga F dikaitkan dengan suhu pemadatan yang mempengaruhi VIM. Meskipun demikian, nilai F pada waktu pemeraman memiliki dampak yang lebih kecil daripada perlakuan suhu pemadatan pada VIM.

Pada Tabel 4.31 cenderung disimpulkan bahwa hubungan antara suhu pemadatan dan waktu pemeraman berpengaruh pada signifikan terhadap nilai VIM. Dalam hal nilai penurunan nilai antara hubungan dengan BNT yang memiliki nilai lebih rendah, maka nilai tersebut akan mempengaruhi nilai VIM. Interaksi yang berpengaruh terdapat di S1L4 (Suhu Pemadatan 25°C dengan Lama Pemeraman 9 hari).

4.6 Uji Korelasi

Tabel 4. 32 Hasil Uji Korelasi

		Lama	Suhu	Stabilitas	Flow	VMA	VFB	VIM
Lama	Pearson Correlation	1	0,000	-0,329*	0,264	0,569**	-0,337*	0,420**
	Sig. (2-tailed)		1,000	0,023	0,070	0,000	0,019	0,003
Suhu	Pearson Correlation	0,000	1	0,765**	-0,247	-0,532**	0,627**	-0,628**
	Sig. (2-tailed)	1,000		0,000	0,090	0,000	0,000	0,000
Stabilitas	Pearson Correlation	-0,329*	0,765**	1	-0,330*	-0,723**	0,843**	-0,834**
	Sig. (2-tailed)	0,023	0,000		0,022	0,000	0,000	0,000

Flow	Pearson Correlation	0,264	-0,247	-0,330*	1	0,341*	-0,355*	0,365*
	Sig. (2-tailed)	0,070	0,090	0,022		0,018	0,013	0,011
VMA	Pearson Correlation	0,569**	-0,532**	-0,723**	0,341*	1	-0,818**	0,902**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,018		0,000	0,000
VFB	Pearson Correlation	-0,337*	0,627**	0,843**	-0,355*	-0,818**	1	-0,982**
	Sig. (2-tailed)	0,019	0,000	0,000	0,013	0,000		0,000
VIM	Pearson Correlation	0,420**	-0,628**	-0,834**	0,365*	0,902**	-0,982**	1
	Sig. (2-tailed)	0,003	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	

Dapat dilihat dari bahwa korelasi antara lama pemeraman dan suhu pemadatan terhadap variabel yang lain berpengaruh nyata ($\text{sig} < 0,05$) terhadap stabilitas, VMA, VFB dan VIM saja. Pengujian ini sudah sesuai dengan hasil yang didapatkan dari perhitungan ANOVA. Lama pemeraman berpengaruh negatif terhadap stabilitas dan VFB, sehingga apabila semakin lama pemeraman yang dilakukan terhadap campuran CPHMA maka hal ini akan menurunkan stabilitas dan VFB campuran. Sedangkan suhu pemadatan berpengaruh negatif terhadap VMA dan VIM, sehingga apabila semakin rendah suhu pemadatan yang dilakukan terhadap campuran CPHMA maka hal ini akan menurunkan nilai VMA dan VIM campuran.

Dari kedua variabel bebas tersebut, suhu pemadatan lebih berpengaruh daripada lama pemeraman terhadap nilai stabilitas, VFB dan VIM, sementara lama pemeraman hanya lebih berpengaruh daripada suhu pemadatan pada variabel VMA.

4.7 Pembahasan

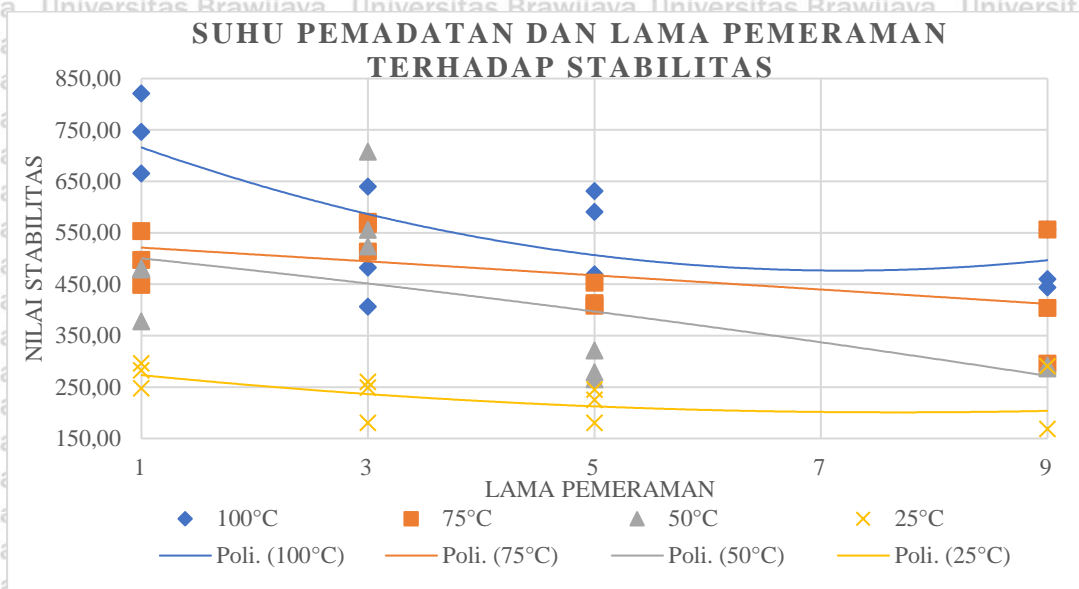
Dari Tabel 4.32 menunjukkan bahwa variabel bebas mempengaruhi semua variabel terikat kecuali flow. Sementara untuk memahami kecenderungan setiap *variable independent* yang berdampak terhadap *variable dependent* didapatkan hasil pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10.

Tabel 4. 33 Pembahasan Hubungan Antara Variabel Terikat dan Variabel Bebas

Variabel Bebas	Variabel Terikat				
	Stabilitas	Flow	VMA	VFB	VIM

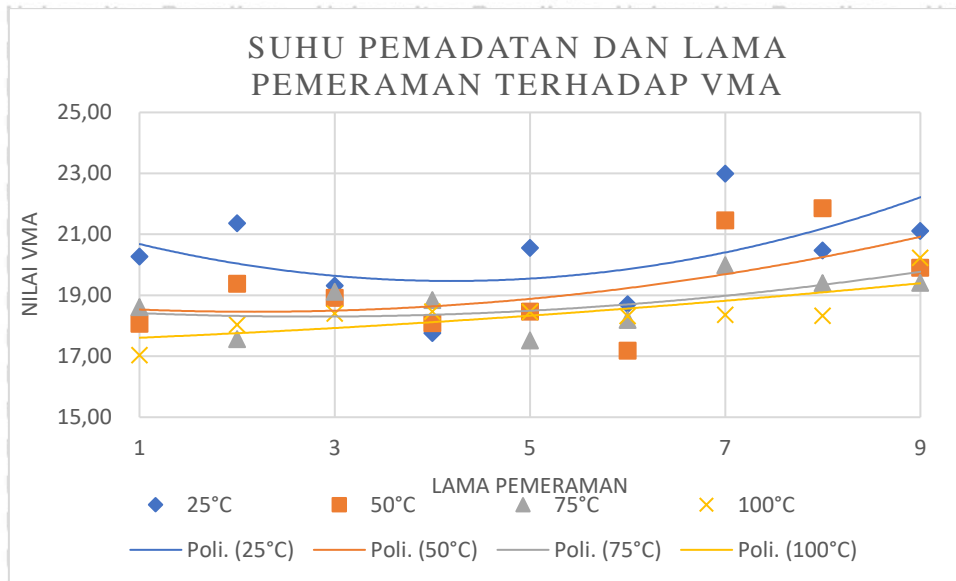
Suhu Pemadatan	Mempunyai effect positif	Tidak mempunyai effect	Mempunyai effect negatif	Mempunyai effect positif	Mempunyai effect negatif
Lama Pemeraman	Mempunyai effect negatif	Tidak mempunyai effect	Mempunyai effect positif	Mempunyai effect negatif	Mempunyai effect positif

Sumber: Hasil Pengujian



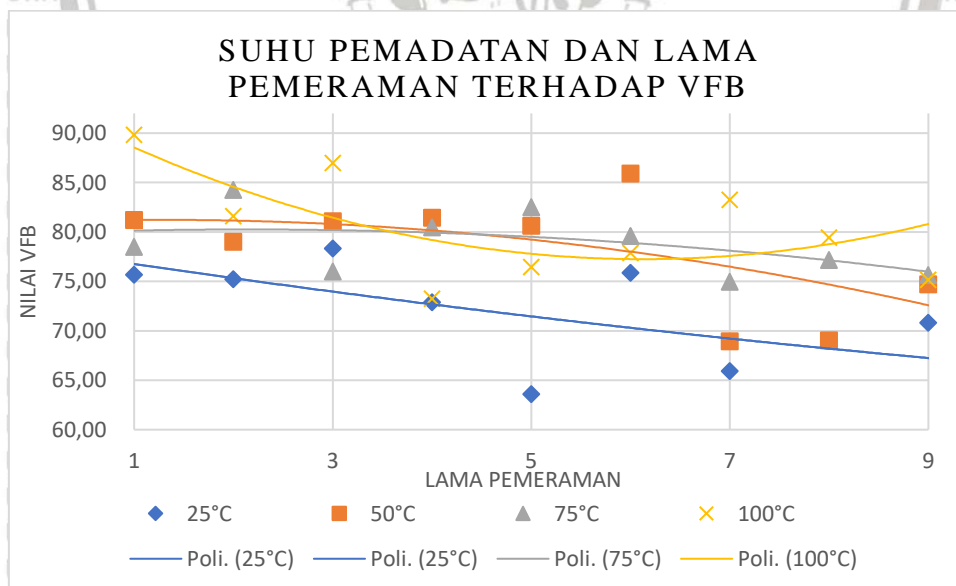
Gambar 4.7 Stabilitas

Jika dilihat dari Gambar 4.7, stabilitas akan berkurang jika suhu pemadatan semakin rendah, stabilitas juga akan berkurang jika waktu pemeraman lebih lama. Hal ini dengan alasan bahwa semakin rendah suhu pemadatan maka semakin rendah kekentalan aspal dari LGA yang membuat aspal semakin sulit untuk mengisi lubang-lubang pada campuran sehingga kekompakan antar butir total semakin rendah.



Gambar 4.8 VMA

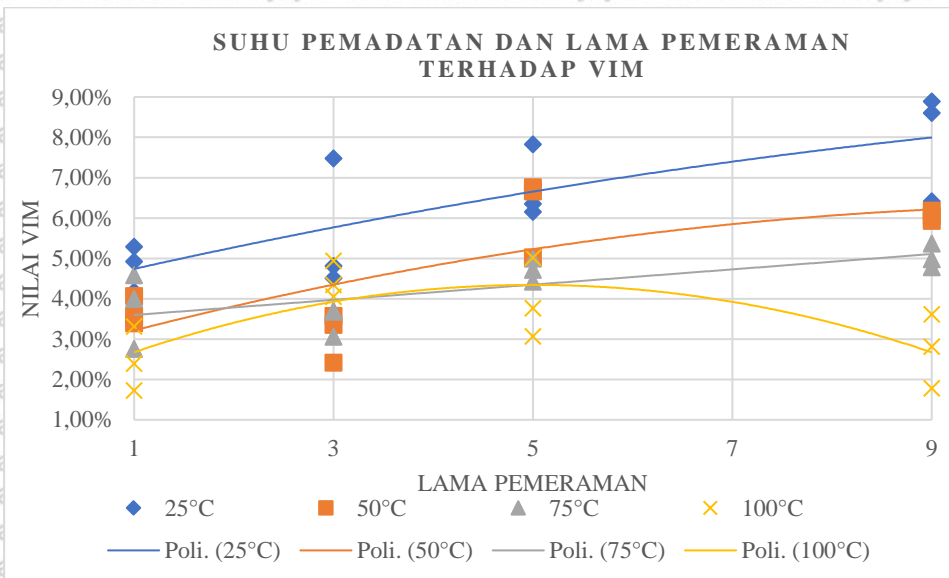
Dari Gambar 4.8 terlihat bahwa semakin tinggi suhu pemadatan maka semakin rendah nilai VMA dan semakin lama waktu pemeraman maka semakin tinggi nilai VMA. Hal ini dikarenakan kandungan rongga secara keseluruhan lebih sulit untuk ditambatkan karena ketebalan lapisan kekentalan aspal yang lebih besar karena penurunan suhu pemadatan.



Gambar 4.9 VFB

Pada Gambar 4.9 bahwa nilai VFB semakin tinggi pada temperatur pemadatan maka nilai VFB semakin besar dan semakin rendah waktu pemeraman maka nilai VFB semakin

rendah. Hal ini dikarenakan kandungan rongga udara semakin kecil, sedangkan volume aspal tetap atau terkendali.



Gambar 4.10 VIM

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai VIM akan meningkat jika suhu pemadatan lebih rendah atau waktu pemeraman lebih lama. Hal ini dengan alasan bahwa semakin rendah suhu pemadatan maka semakin tinggi konsistensi aspal yang membuat aspal semakin sulit masuk rongga (VMA) sehingga rongga udara (VIM) semakin tinggi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil yang diperoleh pada pengujian ini yakni:

1. Semakin tinggi temperatur pemadatan maka nilai *stability* dan nilai VFB semakin meningkat, sedangkan nilai VIM dan VMA semakin menurun. Semakin terbatas waktu pemeraman, maka semakin tinggi nilai *stability* dan VFB, namun nilai VIM dan VMA semakin rendah. Waktu pemeraman dan suhu pemadatan pada dasarnya tidak mempengaruhi *flow*.
2. Varietas yang memenuhi semua spesifikasi karakteristik Marshall adalah benda uji dengan interval lama pemeraman 4-5 hari pada suhu pemadatan 88 °C-94 °C.

5.2 Saran

Berlandaskan penelitian yang telah dilakukan maka untuk penelitian lanjutan disarankan sebagai berikut:

1. Diperlukan adanya kontrol pada laju dan lama pemanasan campuran sebelum benda uji dipadatkan.
2. Diperlukan variasi bahan peremaja untuk mengetahui pengaruh dari macam-macam bahan peremaja pada campuran CPHMA.
3. Diperlukan untuk mengetahui karakteristik campuran antara bahan peremaja dengan bitumen asbuton sehingga keluaran yang dihasilkan dari campuran CPHMA untuk setiap jenis bahan peremaja dengan proporsi tertentu dapat diketahui.

Halaman ini sengaja dikosongkan



Daftar Pustaka

Badan Standardisasi Nasional (BSN). *RSNI M-05-2004 Cara Uji Ekstraksi Kadar Aspal Campuran Beraspal Memakai Tabung Refluks Gelas*. Jakarta: BSN, 2004.

Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*. Jakarta: Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, 2002.

Direktorat Jenderal Bina Marga. *Spesifikasi Umum*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.

Firstyan, Frigi, dan Gabriel Bagus. *Pengaruh Suhu Pematatan terhadap Kinerja Marshall pada Campuran CPHMA Menggunakan LGA dan Aspal Minyak Penetrasi 60/70*. Skripsi, Malang: Universitas Brawijaya, 2015.

Kementerian Pekerjaan Umum. *Pedoman Spesifikasi Teknis Campuran Beraspal dengan Asbuton*. Jakarta: Pusjatan, 2013.

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan). *Laporan Akhir Inventarisasi Cadangan Asbuton di Kabupaten Buton, Buton Utara dan Muna*. Bandung: Pusjatan, 2011.

Pustran-Balitbang PU. *RSNI S-01-2003*. Jakarta: Balitbang PU, 2003.

Shell Bitumen. *The Shell Bitumen Handbook*. 6th. London: ICE Publishing, 2015.

Sukirman, Silvia. *Beton Aspal Campuran Panas*. edisi 2. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia, 2007.

. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova, 1999.

TxDOT (Texas Department of Transportation). *Pavement Manual*. Austin, Texas: TxDOT, 2019.

Wibisono, Yusuf. *Metode Statistik*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2009.

Halaman ini sengaja dikosongkan





LAMPIRAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengukuran	Notasi	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat benda uji dalam air	Ba	1882	1889	gram
Berat benda uji SSD	Bj	2986,3	2989	gram
Berat benda uji kering oven	Bk	2962,3	2965	gram

Perhitungan	Rumus	Sampel 1	Sampel 2	Mean
Dry bulk of density (Sd)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,68	2,70	2,69
Saturated surface of dry density (SSD)	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,70	2,72	2,71
Apparent of density (Sa)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,74	2,76	2,75
Water of absorption (Sw)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	0,81	0,81	0,81

Lampiran 2. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Ukuran saringan		Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Lolos	Tertahan			
3/4	1/2	2500	2504	gram
1/2	3/8	2500	2501	gram
Jumlah berat (a)		5000	5005	Gram
Tertahan No.12 (b)		4286	4321	Gram
Keausan	$\frac{a - b}{b} \times 100\%$	16,66	15,83	%
Keausan rata-rata		16,24		%

Lampiran 3. Pengujian Kepipihan dan Kelonjongan

Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)	Lolos Uji Kepipihan (gr)	Tertahan Uji Kelonjongan (gr)
1/2"	767,0	38,36	92,8	408,2
3/8"	138,0	6,90	25	44,2
1/4"	1094,5	54,74	462,4	140,9
M1 =	1999,5	M2 =	1999,5	
		M3F =	580,2	
			M3E =	593,3
Indeks Kepipihan (%)		M3F/M2 =	29,02	
Indeks Kelonjongan (%)		M3E/M2 =	29,67	

Lampiran 4. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian	Notasi	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
-----------	--------	----------	----------	--------

Berat benda uji SSD	S	500	500	gram
Berat piknometer + benda uji SSD + Air	Bt	1002,3	985,1	gram
Berat piknometer + Air	B	690,3	669,5	gram
Berat benda uji kering oven	Bk	485,5	484,8	gram

Perhitungan	Rumus	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Dry bulk of density (S_d)	$\frac{Bk}{B + S - Bt}$	2,58	2,63	2,61
Saturated surface of dry density (SSD)	$\frac{S}{B + S - Bt}$	2,66	2,71	2,69
Apparent of density (S_a)	$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2,80	2,87	2,83
Water of absorption (S_w)	$\frac{Bk}{B + S - Bt}$	2,99	3,14	3,06

Lampiran 5. Pengujian Kadar Aspal Asbuton

Keterangan	Notasi	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Satuan
Berat kertas saring	a	2,2	2,2	2,2	gram
Berat kertas saring + asbuton	b	302,7	302,2	302,2	gram
Berat asbuton	$c = b - a$	300,5	300	300	gram
Berat asbuton + rangka kerucut + kertas saring	d	381,3	330,5	332,5	gram
Berat rangka kerucut	e	152,3	103,6	103,6	gram
Berat mineral + kertas saring	$f = d - e$	229	226,9	228,9	gram
Berat mineral	$g = f - a$	226,8	224,7	226,7	gram
Berat aspal	$h = c - g$	73,7	75,3	73,3	gram
Kadar aspal	$i = \frac{h}{c} \times 100\%$	24,53	25,10	24,43	%
Kadar aspal rata-rata			24,69		%

Lampiran 6. Mineral Asbuton Hasil Ekstraksi

Saringan	Berat Tertahan	%Mineral tiap Fraksi	%Lolos Kumulatif
No. 4	0 gram	0,00	100,00
No.8	21,3 gram	3,18	96,82
No.50	260,5 gram	38,87	57,95
No.200	292,9 gram	43,70	14,25
Pan	95,5 gram	14,25	0,00
Total	670,2 gram		

Lampiran 7. Hasil Pengujian Karakteristik LGA



LAPORAN HASIL UJI INI HANYA BERLAKU UNTUK JENIS DAN KODE BENDA UJI YANG TERTERA DAN DILARANG MENGGADAKAN TANPA UIN TERTULIS DARI LABORATORIUM BBPJN VIII

FT/5.10/1-01

LAPORAN HASIL UJI

I. IDENTITAS PEMOHON

1. Nama : CV. KETAHANAN ASPAL NASIONAL
2. Alamat : Sugio Pranoto No. 19-21, Kidul Dalem, Kota Malang 65119

II. IDENTITAS PEKERJAAN

1. No. LHU : LP-Bw/10/29 Januari 2020
2. Jenis Contoh Uji : Asbuton B 50/30
3. Jenis Pekerjaan : Uji Properties Asbuton B 50/30
4. Bahan diterima tgl. : 20 Januari 2020
5. Bahan diuji tgl. : 21 Januari 2020

III. DATA PENGUJIAN

Berdasarkan rangkuman hasil uji, maka kami evaluasi dengan hasil sebagai berikut:

No.	Jenis Pengujian	Metode Uji	Jenis Bahan	Hasil Pengujian Rata-rata	Satuan	Keterangan
1	EKSTRAKSI / KADAR BITUMEN ASBUTON	SNI 03-6894-2002	Asbuton B 50/30	27.85	%	Memenuhi Spesifikasi
2	UKURAN BUTIR ASBUTON BUTIR LOLOS AYAKAN $\frac{3}{8}$ (9.5 mm)	SNI 03-4142-1996	Asbuton B 50/30	100.00	%	Memenuhi Spesifikasi
3	PENETRASI ASPAL	SNI 2456 : 2011	Asbuton B 50/30	45.20	%	Memenuhi Spesifikasi
4	TITIK LEMBEK ASPAL	SNI 2434 : 2011	Asbuton B 50/30	51.30	%	Memenuhi Spesifikasi
5	DAKTILITAS ASPAL	SNI 2432 : 2011	Asbuton B 50/30	116	%	Memenuhi Spesifikasi
6	BERAT JENIS ASPAL	SNI 2441 : 2011	Asbuton B 50/30	1.034	%	Memenuhi Spesifikasi
7	PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM TRICHLOR ETHYLEN	SNI 2438 : 2015	Asbuton B 50/30	99.835	%	Memenuhi Spesifikasi
8	BERAT YANG HILANG (TFOT)	SNI 06-2440-1991	Asbuton B 50/30	0.004	%	Memenuhi Spesifikasi
9	PENETRASI SETELAH KEHILANGAN BERAT	SNI 2456 : 2011	Asbuton B 50/30	80.75	%	Memenuhi Spesifikasi

Catatan:

1. Laporan hasil uji ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laporan hasil uji ini terdiri dari 9 Halaman.
3. Laporan hasil uji ini tidak boleh digandakan, kecuali secara lengkap dan seijin tertulis dari Laboratorium Teknik Jalan dan Jembatan Wilayah Jawa Timur Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VIII.
4. Laboratorium melayani pengaduan maksimum 1 (satu) minggu terhitung dari tanggal penyerahan laporan hasil uji.

Demikian hasil pengujian sesuai dengan bahan uji yang diterima Laboratorium Teknik Jalan dan Jembatan Wilayah Jawa Timur Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VIII yang dilaksanakan sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Sidoarjo, 29 Januari 2020

Kepala Seksi
Pembangunan dan Pengujian Jalan

Ir. Sigit Meladi, M.MT
NIP. 19620709 198703 1 014



Lampiran 8. Contoh Perhitungan

Data yang diketahui:

Suhu Pemasakan = 100°C

Lama Pemeraman = 9 Hari

Notasi Benda Uji = A

Berat Campuran = 1000 gram

Berat Aspal = 60 gram

Berat Peremaja = 30 gram

Berat Jenis Aspal = 1,034

Dry Weight of Test Object = 1024,4 gram*Saturated surface of dry density (SSD)* = 1038,0 gram*Weight of Test Object in Water* = 555 gram*Test Object of Thickness* = 61,03 mm

$$Volume = \frac{Berat_{SSD} - Berat_{(dalam\ air)}}{BJ_{air}} = \frac{1038,0 - 555}{1} = 483\text{ cm}^3$$

$$Berat_{isi} = \frac{Berat_{Kering}}{Volume} = \frac{1024,4}{483} = 2,121\text{ gram/cm}^3$$

$$Volume_{campuran} = \frac{Berat_{Kering} - Berat_{(dalam\ air)}}{BJ_{air}} = \frac{1024,4 - 555}{1} = 469,4\text{ cm}^3$$

$$Volume_{aspal} = \frac{(kadar\ aspal) \times Berat_{Kering}}{BJ_{aspal}} = \frac{6\% \times 1024,4}{1,034} = 59,443\text{ cm}^3$$

$$Volume_{agregat} = Volume_{campuran} - Volume_{aspal} = 469,4 - 59,443 = 409,957\text{ cm}^3$$

$$Berat_{agregat} = \%_{agregat} \times Berat_{kering} = 94\% \times 1024,4 = 962,936\text{ gram}$$

$$BJ_{agregat} = \frac{Berat_{agregat}}{Volume_{agregat}} = \frac{962,936}{409,957} = 2,349\text{ gram/cm}^3$$

Berat Jenis Maksimum (Teoritis)

$$BJ_{maksimum} = \frac{100}{\frac{100 - \%_{aspal}}{BJ_{agregat}} + \frac{\%_{aspal}}{BJ_{aspal}}} = \frac{100}{\frac{100 - 6}{2,349} + \frac{6}{1,034}} = 2,182\text{ gram/cm}^3$$

%isi dari total

$$Aspal = \frac{\%_{aspal} \times berat_{isi}}{BJ_{aspal}} = \frac{6\% \times 2,121}{1,034} = 12,307\%$$

$$\text{Agregat} = \frac{\% \text{ agregat} \times \text{berat isi}}{BJ_{\text{agregat}}} = \frac{94 \times 2,121}{2,349} = 84,876\%$$

$$\text{Rongga dalam campuran (VIM)} = 100\% - 84,876\% - 12,307\% = 2,817\%$$

$$\text{Rongga diantara mineral agregat (VMA)} = 100\% - 84,876\% = 15,123\%$$

$$\text{Rongga terisi aspal (VFB)} = \frac{84,876 - 12,307}{84,876} \times 100\% = 85,497\%$$

Stabilitas

$$\text{Pembacaan} = 47$$

$$\text{Angka koreksi} = 1,10$$

$$\text{Kalibrasi} = 10,768$$

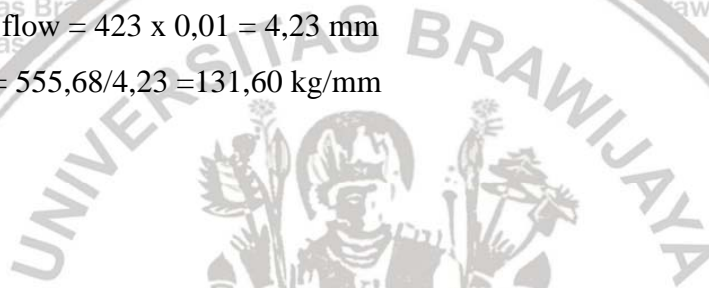
$$\text{Nilai stabilitas} = 4,7 \times 1,10 \times 10,768 = 555,68 \text{ kg}$$

Flow

$$\text{Pembacaan} = 423$$

$$\text{Nilai flow} = 423 \times 0,01 = 4,23 \text{ mm}$$

$$\text{MQ} = 555,68 / 4,23 = 131,60 \text{ kg/mm}$$



Lampiran 9. Lama Pemeraman 9 hari

Hari	Sampel	Suhu	Kadar Aspal (%)	Berat Kering Briket (gr)	Berat Keranjang + Briket dalam Air (gr)	Berat Keranjang dalam Air (gr)	Beban Briket di Water (gr)	Beban SSD (gr)	Bacaan Kekuatan stability	Bacaan deformasi	Berat Agregat	Kadar Aspal dalam Briket, Pb (%)	Kadar Agregat dalam Briket, Ps (%)	Volume Briket (cm3)
			a	b	c	d	e=c-d	f	g	h	i	$j=(b-l)/b$	$k=100\%-j$	$l=f-e$
9	A	25	6%	1019,6	1102,0	540	562	1062,7	15,0	472	940,0	7,81%	92,19%	500,7
9	B	25	6%	1017,7	1101,5	540	561,5	1049,0	24,9	489	940,0	7,63%	92,37%	487,5
9	C	25	6%	1018,3	1102,5	540	562,5	1062,8	13,2	329	940,0	7,69%	92,31%	500,3
9	A	50	6%	1018,4	1100,0	540	560	1047,3	24,5	400	940,0	7,70%	92,30%	487,3
9	B	50	6%	1018,3	1099,0	540	559	1047,9	25,0	350	940,0	7,69%	92,31%	488,9
9	C	50	6%	1017,6	1100,0	540	560	1047,8	25,0	423	940,0	7,63%	92,37%	487,8
9	A	75	6%	1016,9	1097,5	540	557,5	1041,0	25,0	390	940,0	7,56%	92,44%	483,5
9	B	75	6%	1024,9	1105,0	540	565	1048,0	47,0	311	940,0	8,28%	91,72%	483,0
9	C	75	6%	1020,1	1104,0	540	564	1046,0	34,0	377	940,0	7,85%	92,15%	482,0
9	A	100	6%	1024,4	1095,0	540	555,0	1038,0	47,0	423	940,0	8,24%	91,76%	483,0
9	B	100	6%	1015,6	1089,0	540	549	1033,1	39,0	398	940,0	7,44%	92,56%	484,1
9	C	100	6%	1016,4	1082,0	540	542	1025,0	37,5	323	940,0	7,52%	92,48%	483,0

BJ Aspal Buton, Gb	Volum e Briket Padat (cm3)	Volum e Aspal	Volum e Agregat	BJ Agregat, Gsb	BJ Maksimum Briket, Gmm	BJ Curing Briket, Gmb	Kadar Aspal dalam Volum e (%)	Kadar Agregat dalam Volum e (%)	Rongga dalam Campuran, VIM	Rongga dalam Agregat, VMA	Rongga terisi Aspal, VFB	Kalibrasi Proving Ring	Angka Koreksi	Stabilitas	Flow (mm)	MQ
M	n=b-e	o=j*b/m	p=n-o	q=p/i	r=1/(k/q+j/m)	s=b/l	t=j*s/m	u=k*s/q	v=(r-s)/r	w=100-s*k/q	x=(w-v)/w	y=0,4536*23,740	z	aa=g*y*z	Flow=h*0,01	MQ=aa/Flow
1,034	457,6	76,983	380,617	2,470	2,228	2,036	15,375	76,017	8,608	23,983	64,11	10,768464	1,046	168,93	4,72	35,79
1,034	456,2	75,145	381,055	2,467	2,231	2,088	15,414	78,165	6,421	21,835	70,60	10,768464	1,085	291,00	4,89	59,51
1,034	455,8	75,725	380,075	2,473	2,234	2,035	15,136	75,969	8,895	24,031	62,99	10,768464	1,047	148,82	3,29	45,23
1,034	458,4	75,822	382,578	2,457	2,222	2,090	15,560	78,510	5,931	21,490	72,40	10,768464	1,086	286,49	4,00	71,62
1,034	459,3	75,725	383,575	2,451	2,217	2,083	15,489	78,457	6,054	21,543	71,90	10,768464	1,081	290,98	3,50	83,14
1,034	457,6	75,048	382,552	2,457	2,224	2,086	15,385	78,424	6,191	21,576	71,31	10,768464	1,084	291,91	4,23	69,01
1,034	459,4	74,371	385,029	2,441	2,214	2,103	15,382	79,634	4,984	20,366	75,53	10,768464	1,098	295,66	3,90	75,81
1,034	459,9	82,108	377,792	2,488	2,229	2,122	17,000	78,218	4,783	21,782	78,04	10,768464	1,100	556,68	3,11	179,00
1,034	456,1	77,466	378,634	2,483	2,237	2,116	16,072	78,555	5,373	21,445	74,94	10,768464	1,103	403,93	3,77	107,14
1,034	469,4	81,625	387,775	2,424	2,182	2,121	16,900	80,285	2,816	19,715	85,72	10,768464	1,100	556,68	4,23	131,60
1,034	466,6	73,114	393,486	2,389	2,177	2,098	15,103	81,282	3,615	18,718	80,69	10,768464	1,096	460,40	3,98	115,68
1,034	474,4	73,888	400,512	2,347	2,142	2,104	15,298	82,922	1,781	17,078	89,57	10,768464	1,100	444,16	3,23	137,51

Lampiran 10. Lama Pemeraman 5 hari

Hari	Sampel	Suhu	Kadar Aspal (%)	Berat Kering Briket (gr)	Berat Keranjang + Briket dalam Air (gr)	Berat Keranjang dalam Air (gr)	Beban Briket di Water (gr)	Beban SSD (gr)	Bacaan Kekuatan stability	Bacaan deformasi	Berat Agregat	Kadar Aspal dalam Briket, Pb (%)	Kadar Agregat dalam Briket, Ps (%)	Volume Briket (cm ³)
			a	b	c	d	e=c-d	f	g	h	i	j=(b-l)/b	k=100%-j	l=f-e
5	A	25	6%	1018,3	1098,0	540	558	1057,4	16,0	417	940,0	7,69%	92,31%	499,4
5	B	25	6%	1012,4	1088,0	540	548	1043,9	21,5	384	940,0	7,15%	92,85%	495,9
5	C	25	6%	1017,3	1088,0	540	548	1048,1	20,0	443	940,0	7,60%	92,40%	500,1
5	A	50	6%	1014,9	1098,0	540	558	1047,5	24,0	490	940,0	7,38%	92,62%	489,5
5	B	50	6%	1016,8	1098,0	540	558	1050,1	23,0	430	940,0	7,55%	92,45%	492,1
5	C	50	6%	1014,9	1092,2	540	552,2	1039,4	27,5	340	940,0	7,38%	92,62%	487,2
5	A	75	6%	1015,0	1095,2	540	555,2	1039,2	35,0	319	940,0	7,39%	92,61%	484,0
5	B	75	6%	1014,8	1093,0	540	553	1036,2	34,5	320	940,0	7,37%	92,63%	483,2
5	C	75	6%	1013,0	1094,9	540	554,9	1035,7	38,0	440	940,0	7,21%	92,79%	480,8
5	A	100	6%	1014,6	1097,0	540	557	1029,1	51,5	368	940,0	7,35%	92,65%	472,1
5	B	100	6%	1012,3	1090,0	540	550	1030,4	49,5	303	940,0	7,14%	92,86%	480,4
5	C	100	6%	1016,4	1095,0	540	555	1040,8	40,0	365	940,0	7,52%	92,48%	485,8

BJ Aspal Buton, Gb	Volum e Briket Padat (cm3)	Volum e Aspal	Volum e Agregat	BJ Agregat, Gsb	BJ Maksimum Briket, Gmm	BJ Curing Briket, Gmb	Kadar Aspal dalam Volum e (%)	Kadar Agregat dalam Volum e (%)	Rongga dalam Campuran, VIM	Rongga dalam Agregat, VMA	Rongga terisi Aspal, VFB	Kalibrasi Proving Ring	Angka Koreksi	Stabilitas	Flow (mm)	MQ
M	n=b-e	o=j*b/m	p=n-o	q=p/i	r=1/(k/q+j/m)	s=b/l	t=j*s/m	u=k*s/q	v=(r-s)/r	w=100-s*k/q	x=(w-v)/w	y=0,4536*23,740	z	aa=g*y*z	Flow=h*0,01	MQ=aa/Flow
1,034	460,3	75,725	384,575	2,444	2,212	2,039	15,163	77,007	7,829	22,993	65,95	10,768464	1,050	180,83	4,17	43,36
1,034	464,4	70,019	394,381	2,383	2,180	2,042	14,120	79,528	6,352	20,472	68,97	10,768464	1,060	245,32	3,84	63,89
1,034	469,3	74,758	394,542	2,383	2,168	2,034	14,949	78,893	6,159	21,107	70,82	10,768464	1,048	225,61	4,43	50,93
1,034	456,9	72,437	384,463	2,445	2,221	2,073	14,798	78,542	6,660	21,458	68,96	10,768464	1,079	278,85	4,90	56,91
1,034	458,8	74,275	384,525	2,445	2,216	2,066	15,093	78,140	6,767	21,860	69,04	10,768464	1,071	265,25	4,30	61,69
1,034	462,7	72,437	390,263	2,409	2,193	2,083	14,868	80,103	5,029	19,897	74,73	10,768464	1,086	321,67	3,40	94,61
1,034	459,8	72,534	387,266	2,427	2,207	2,097	14,986	80,014	5,000	19,986	74,98	10,768464	1,097	413,30	3,19	129,56
1,034	461,8	72,340	389,460	2,414	2,197	2,100	14,971	80,600	4,429	19,400	77,17	10,768464	1,099	408,38	3,20	127,62
1,034	458,1	70,600	387,500	2,426	2,211	2,107	14,684	80,595	4,721	19,405	75,67	10,768464	1,107	453,12	4,40	102,98
1,034	457,6	72,147	385,453	2,439	2,217	2,149	15,282	81,646	3,071	18,354	83,27	10,768464	1,138	631,33	3,68	171,56
1,034	462,3	69,923	392,377	2,396	2,190	2,107	14,555	81,677	3,768	18,323	79,44	10,768464	1,109	590,97	3,03	195,04
1,034	461,4	73,888	387,512	2,426	2,203	2,092	15,210	79,768	5,023	20,232	75,17	10,768464	1,091	469,81	3,65	128,72

Lampiran 11. Lama Pemeraman 3 Hari

Hari	Sampel	Suhu	Kadar Aspal (%)	Berat Kering Briket (gr)	Berat Keranjang + Briket dalam Air (gr)	Berat Keranjang dalam Air (gr)	Beban Briket di Water (gr)	Beban SSD (gr)	Bacaan Kekuatan stability	Bacaan deformasi	Berat Agregat	Kadar Aspal dalam Briket, Pb (%)	Kadar Agregat dalam Briket, Ps (%)	Volume Briket (cm ³)	BJ Aspal Buton, Gb	Volume Briket Padat (cm ³)
			a	B	c	d	e=c-d	f	g	h	i	$j=(b-l)/b$	$k=100\%-j$	$l=f-e$	m	$n=b-e$
3	A	25	6%	1006,8	1072,0	540	532	1030,8	22,0	416	940,0	6,63%	93,37%	498,8	1,034	474,8
3	B	25	6%	1007,6	1085,0	540	545	1045,0	16,0	331	940,0	6,71%	93,29%	500,0	1,034	462,6
3	C	25	6%	1013,2	1077,0	540	537	1035,7	23,0	378	940,0	7,22%	92,78%	498,7	1,034	476,2
3	A	50	6%	1012,6	1092,0	540	552	1028,6	46,0	334	940,0	7,17%	92,83%	476,6	1,034	460,6
3	B	50	6%	1014,1	1090,0	540	550	1031,3	44,0	296	940,0	7,31%	92,69%	481,3	1,034	464,1
3	C	50	6%	1011,4	1095,0	540	555	1022,7	56,9	334	940,0	7,06%	92,94%	467,7	1,034	456,4
3	A	75	6%	1015,4	1092,0	540	552	1033,1	48,0	356	940,0	7,43%	92,57%	481,1	1,034	463,4
3	B	75	6%	1011,3	1088,9	540	548,9	1025,9	47,0	287	940,0	7,05%	92,95%	477,0	1,034	462,4
3	C	75	6%	1011,9	1089,5	540	549,5	1029,7	43,0	420	940,0	7,11%	92,89%	480,2	1,034	462,4
3	A	100	6%	1007,1	1091,0	540	551	1030,8	34,0	355	940,0	6,66%	93,34%	479,8	1,034	456,1
3	B	100	6%	1010,2	1090,0	540	550	1031,1	40,5	353	940,0	6,95%	93,05%	481,1	1,034	460,2
3	C	100	6%	1010,3	1093,0	540	553	1029,6	53,0	374	940,0	6,96%	93,04%	476,6	1,034	457,3

Volume Aspal	Volume Agregat	BJ Agregat, Gsb	BJ Maksimum Briket, Gmm	BJ Curah Briket, Gmb	Kadar Aspal dalam Volume (%)	Kadar Agregat dalam Volume (%)	Rongga dalam Campuran, VIM	Rongga dalam Agregat, VMA	Rongga terisi Aspal, VFB	Kalibrasi Proving Ring	Angka Koreksi	Stabilitas	Flow (mm)	MQ
$o=j*b/m$	$p=n-o$	$q=p/i$	$r=1/(k/q+j/m)$	$s=b/l$	$t=j*s/m$	$u=k*s/q$	$v=(r-s)/r$	$w=100-s*k/q$	$x=(w-v)/w$	$y=0,4536*23,740$	z	$aa=g*y*z$	$Flow=h*0,01$	$MQ=aa/Flow$
64,603	410,197	2,292	2,120	2,018	12,952	82,237	4,812	17,763	72,91	10,768464	1,051	249,04	4,16	59,87
65,377	397,223	2,366	2,178	2,015	13,075	79,445	7,480	20,555	63,61	10,768464	1,048	180,53	3,31	54,54
70,793	405,407	2,319	2,128	2,032	14,196	81,293	4,512	18,707	75,88	10,768464	1,052	260,43	3,78	68,90
70,213	390,387	2,408	2,198	2,125	14,732	81,911	3,357	18,089	81,44	10,768464	1,122	555,76	3,34	166,40
71,663	392,437	2,395	2,185	2,107	14,890	81,537	3,574	18,463	80,64	10,768464	1,106	523,86	2,96	176,98
69,052	387,348	2,427	2,216	2,162	14,764	82,820	2,416	17,180	85,94	10,768464	1,155	707,87	3,34	211,94
72,921	390,479	2,407	2,191	2,111	15,157	81,164	3,679	18,836	80,47	10,768464	1,106	571,83	3,56	160,63
68,956	393,444	2,389	2,187	2,120	14,456	82,483	3,061	17,517	82,53	10,768464	1,121	567,12	2,87	197,60
69,536	392,864	2,393	2,188	2,107	14,481	81,813	3,707	18,187	79,62	10,768464	1,109	513,69	4,20	122,31
64,894	391,206	2,403	2,208	2,099	13,525	81,535	4,940	18,465	73,25	10,768464	1,111	406,68	3,55	114,56
67,892	392,308	2,396	2,195	2,100	14,112	81,544	4,344	18,456	76,46	10,768464	1,106	482,48	3,53	136,68
67,988	389,312	2,415	2,209	2,120	14,265	81,685	4,050	18,315	77,89	10,768464	1,122	640,33	3,74	171,21

Lampiran 12. Lama Pemeraman 1 Hari

Hari	Sampel	Suhu	Kadar Aspal (%)	Berat Kering Briket (gr)	Berat Keranjang + Briket dalam Air (gr)	Berat Keranjang dalam Air (gr)	Beban Briket di Water (gr)	Beban SSD (gr)	Bacaan Kekuatan <i>stability</i>	Bacaan deformasi	Berat Agregat	Kadar Aspal dalam Briket, Pb (%)	Kadar Agregat dalam Briket, Ps (%)	Volume Briket (cm ³)
			a	b	c	d	e=c-d	f	g	h	i	j=(b-l)/b	k=100%-j	l=f-e
1	A	25	6%	1016,9	1096,0	540	556	1040,8	24,0	441	940,0	7,56%	92,44%	484,8
1	B	25	6%	1021,3	1098,0	540	558	1047,2	21,3	292	940,0	7,96%	92,04%	489,2
1	C	25	6%	1015,9	1091,0	540	551	1036,2	25,2	321	940,0	7,47%	92,53%	485,2
1	A	50	6%	1012,5	1091,0	540	551	1028,7	40,0	422	940,0	7,16%	92,84%	477,7
1	B	50	6%	1015,9	1096,0	540	556	1035,4	30,0	292	940,0	7,47%	92,53%	479,4
1	C	50	6%	1016,8	1090,0	540	550	1034,1	32,0	365	940,0	7,55%	92,45%	484,1
1	A	75	6%	1011,8	1095,5	540	555,5	1030,8	37,0	326	940,0	7,10%	92,90%	475,3
1	B	75	6%	1012,1	1094,0	540	554	1025,1	45,0	440	940,0	7,12%	92,88%	471,1
1	C	75	6%	1011,4	1098,0	540	558	1033,2	41,0	384	940,0	7,06%	92,94%	475,2
1	A	100	6%	1014,0	1094,5	540	554,5	1022,1	66,0	335	940,0	7,30%	92,70%	467,6
1	B	100	6%	1011,2	1099,0	540	559	1026,7	53,5	337	940,0	7,04%	92,96%	467,7
1	C	100	6%	1018,2	1097,0	540	557	1029,5	61,0	345	940,0	7,68%	92,32%	472,5

BJ Aspal Buton, Gb	Volume Briket Padat (cm3)	Volume Aspal	Volume Agregat	BJ Agregat, Gsb	BJ Maksimum Briket, Gmm	BJ Curah Briket, Gmb	Kadar Aspal dalam Volume (%)	Kadar Agregat dalam Volume (%)	Rongga dalam Campuran, VIM	Rongga dalam Agregat, VMA	Rongga terisi Aspal, VFB	Kalibrasi Proving Ring	Angka Koreksi	Stabilitas	Flow (mm)	MQ
m	n=b-e	o=j*b/m	p=n-o	q=p/i	r=1/(k/q+j/m)	s=b/l	t=j*s/m	u=k*s/q	v=(r-s)/r	w=100-s*k/q	x=(w-v)/w	y=0,4536*23,740	z	aa=g*y*z	Flow=h*0,01	MQ=aa/Flow
1,034	460,9	74,371	386,529	2,432	2,206	2,098	15,341	79,730	4,930	20,270	75,68	10,768464	1,094	282,73	4,41	64,11
1,034	463,3	78,627	384,673	2,444	2,204	2,088	16,073	78,633	5,294	21,367	75,22	10,768464	1,080	247,70	2,92	84,83
1,034	464,9	73,404	391,496	2,401	2,185	2,094	15,129	80,687	4,184	19,313	78,34	10,768464	1,093	296,51	3,21	92,37
1,034	461,5	70,116	391,384	2,402	2,194	2,120	14,678	81,931	3,391	18,069	81,23	10,768464	1,118	481,59	4,22	114,12
1,034	459,9	73,404	386,496	2,432	2,209	2,119	15,312	80,621	4,068	19,379	79,01	10,768464	1,112	359,28	2,92	123,04
1,034	466,8	74,275	392,525	2,395	2,178	2,100	15,343	81,084	3,574	18,916	81,11	10,768464	1,096	377,76	3,65	103,50
1,034	456,3	69,439	386,861	2,430	2,217	2,129	14,610	81,393	3,997	18,607	78,52	10,768464	1,127	448,89	3,26	137,69
1,034	458,1	69,729	388,371	2,420	2,209	2,148	14,801	82,439	2,759	17,561	84,29	10,768464	1,142	553,47	4,40	125,79
1,034	453,4	69,052	384,348	2,446	2,231	2,128	14,531	80,881	4,588	19,119	76,00	10,768464	1,127	497,57	3,84	129,58
1,034	459,5	71,567	387,933	2,423	2,207	2,169	15,305	82,963	1,732	17,037	89,83	10,768464	1,156	821,36	3,35	245,18
1,034	452,2	68,859	383,341	2,452	2,236	2,162	14,723	81,963	3,314	18,037	81,63	10,768464	1,155	665,57	3,37	197,50
1,034	461,2	75,629	385,571	2,438	2,208	2,155	16,006	81,602	2,392	18,398	87,00	10,768464	1,137	746,81	3,45	216,47