

Kinerja CPHMA Terhadap Variasi Suhu Pemanasan Dengan Pelarut Asbuton Berbasis Minyak Kemiri

Rayvaldy Abednego Rumbay¹, Agnes Hanna Patty², Lila Khamelda³
^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil - Universitas Katolik Widya Karya Malang, Indonesia

Alamat: Universitas Katolik Widya Karya Malang – Jl. Bondowoso No 2 Malang

*Korespondensi penulis: [201732009 @widyakarya.ac.id](mailto:201732009@widyakarya.ac.id)

Abstract. Road pavement construction needs in Indonesia continue to increase from time to time along with technological advancement. Recorded asphalt needs in Indonesia for each year are 1.2 million tons and Indonesia has asphalt supply from Buton that can support construction in Indonesia up to 135 years (Department of Public Works, 2006). Buton Asphalt (Asbuton) is an alternative for road pavement construction in Indonesia, therefore this local technology from Indonesia must be developed for mutual progress. The deficiency of asbuton regarding solvent needs, until now remains a constraint in the road material supplier industry. Until now, the solvents commonly used are petroleum-based which are certainly not sustainable. Kemiri oil has potential as a sustainable asbuton mixture solvent because it is vegetable-based. This study aims to determine the effect of the quantity of kemiri oil added to the Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) mixture. It is expected that later kemiri oil will not only be a solvent, but also as a modifier for compounds in asbuton so that it can become a rejuvenator during CPHMA spreading. The results obtained through this study are that the three variations of solvent quantity, namely 10%, 30%, and 40%, provide Marshall parameter values that meet CPHMA regulations.

Keywords: Asbuton, Kemiri oil, Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA), Asbuton solvent, Marshall stability

Abstrak. Kebutuhan pembangunan jalan beraspal di Indonesia terus meningkat dari waktu ke waktu seiring dengan kemajuan teknologi. Tercatat kebutuhan aspal di Indonesia untuk setiap tahunnya adalah sebesar 1,2 juta ton dan Indonesia mempunyai pasokan aspal dari Buton yang dapat menyokong pembangunan di Indonesia sampai dengan 135 tahun (Departemen Pekerjaan Umum, 2006). Aspal Buton (Asbuton) merupakan alternatif untuk pembangunan jalan beraspal di Indonesia, oleh karena itu teknologi lokal dari Indonesia ini harus dikembangkan demi kemajuan bersama. Kekurangan asbuton terhadap kebutuhan pelarut, hingga kini masih menjadi kendala dalam industri pemasok material jalan. Hingga saat ini, pelarut yang umum digunakan yaitu berbasis minyak bumi yang tentunya tidak sustainable. Minyak kemiri berpotensi sebagai pelarut campuran asbuton yang sustainable karena berbasis nabati. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari kuantitas minyak kemiri yang ditambahkan pada campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA). Diharapkan nantinya minyak kemiri tidak hanya sebagai pelarut, tetapi juga sebagai modifier terhadap senyawa dalam asbuton sehingga dapat menjadi peremaja pada saat penghamparan CPHMA. Hasil yang diperoleh melalui penelitian ini yaitu ketiga variasi kuantitas pelarut yaitu 10%, 30% dan 40% memberikan nilai parameter marshall yang memenuhi ketentuan CPHMA.

Kata kunci: Asbuton, Minyak kemiri, Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA), Pelarut asbuton, Parameter marshall

1. LATAR BELAKANG

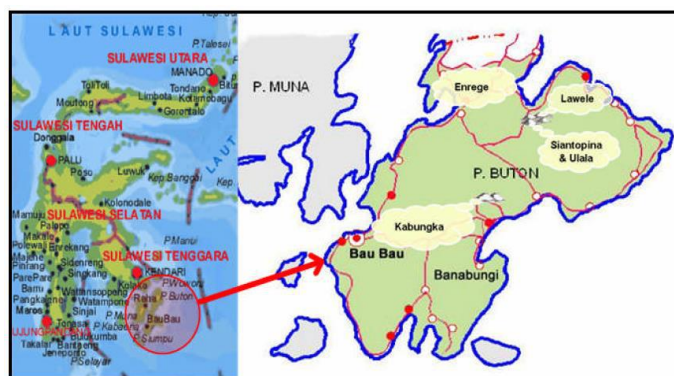
Perkembangan jalan merupakan salah satu hal yang selalu beriringan dengan kemajuan teknologi dan pemikiran manusia, karena itu jalan merupakan fasilitas penting bagi manusia agar dapat menjadi prasarana transportasi yang menghubungkan suatu wilayah ke wilayah yang lain. Seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi, arus lalu lintas terus meningkat sehingga pendistribusian barang dan jasa membutuhkan jalan yang dapat diakses untuk menjangkau daerah-daerah yang dituju. Agar pendistribusian barang dan jasa semakin lancar maka jalan yang akan dilalui harus melalui perencanaan yang matang.

Penggunaan aspal dengan menggunakan minyak bumi menyebabkan deposit aspal minyak semakin hari semakin menipis sehingga mengalami kelangkaan yang menyebabkan

Naskah Masuk: September 27, 2024; Revisi: Februari 03, 2025; Diterima: Maret 03, 2025;

Terbit: Juni 30, 2025

adanya peningkatan biaya dalam pengadaannya. Kelangkaan ini akan berdampak pada pembangunan jalan raya di Indonesia, tidak saja dari segi pengadaan material tetapi juga berimbas pada pengembangan konektivitas antar daerah karena adanya kendala dalam pembangunan infrastruktur jalan. Kelangkaan tersebut haruslah diantisipasi dengan pengadaan material alternatif sebagai pengganti aspal minyak bumi, salah satu alternatifnya adalah asbuton. Asbuton merupakan aspal batuan yang berada di Pulau Buton dengan ketersediaan deposit asbuton hingga tahun 2011 terdata sejumlah 662 juta ton (Puslitbang, 2018). Jika kebutuhan aspal terhadap pengembangan jalan nasional sebesar 1,2 juta ton/tahun (Puslitbang, 2018), sedangkan rata – rata kadar aspal dalam asbuton sebesar 25% (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006a), maka kebutuhan jalan nasional dapat diakomodasi oleh asbuton untuk 135 tahun. Terkait potensi asbuton tersebut, maka pemerintah kembali menggalakkan penggunaan asbuton melalui Direktorat Bina Marga untuk menetapkan ruas jalan nasional yang mengaplikasikan material dan teknologi asbuton (Permen PUPR No. 18/PRT/M/2018, 2018).



Gambar 1. Peta Lokasi Sebaran Asbuton

Sumber: (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006a)

Tetapi penggunaan asbuton memiliki kekurangan, dimana salah satunya adalah kebutuhan asbuton terhadap pelarut yang berfungsi untuk melarutkan secara maksimal kandungan aspal dalam batuan asbuton. Pelarut untuk asbuton memiliki begitu banyak fungsi diantaranya sebagai pelarut aspal asbuton, meremajakan perkerasan pada saat dihamparkan dan sebagai zat yang memodifikasi senyawa dalam asbuton sehingga dapat diaplikasikan dalam teknologi asbuton. Hingga saat ini pelarut yang umum digunakan dalam pelarutan asbuton di industri, berupa minyak berat dan minyak ringan (Baisa, 2021). Penggunaan pelarut berbasis minyak bumi juga nantinya akan mengalami kelangkaan karena merupakan produk yang sama dengan aspal minyak. Dibutuhkan alternatif pelarut yang sustainable sehingga pasokannya dapat selalu tersedia.

Dalam penelitian ini minyak kemiri dipilih sebagai pelarut alternatif Asbuton dikarenakan minyak kemiri menunjukkan potensi tertinggi berdasarkan uji Marshall dan

Liquid-Liquid Extraction (LLE) dari penelitian Djakfar et al. (2020). Minyak Kemiri juga mempunyai banyak manfaat bagi kehidupan manusia, diantaranya dalam bidang kesehatan.

Salah satu teknologi asbuton adalah *Cold Paving Hot Mix Asbuton* (CPHMA) yang merupakan produk campuran beraspal instan atau siap pakai di pasaran. Dalam teknologi CPHMA ini, konstruksi perkerasan lebih merata dan homogen sehingga menyebabkan kerekatan permukaan yang lebih baik dari teknologi aspal dan sejenis lainnya. Penelitian ini mengaplikasikan variasi suhu pemanasan pada proses pencampuran terhadap kinerja CPHMA. Kinerja yang dimaksudkan adalah cara kerja (mekanisme) CPHMA yang menunjukkan kualitasnya sebagai lapisan perkerasan. Indikator kinerja CPHMA dalam penelitian ini yaitu parameter marshall meliputi stabilitas, kelelahan, rongga dalam campuran (*Voids In Mix*, *Void In Mineral Agregat* dan *Void Filled With Bitumen*) dan *marshall quotient* (MQ).

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Asbuton

Asbuton merupakan aspal alam yang berasal dari pulau Buton yang merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan (Dalimin, 1980). Asbuton memiliki bentuk seperti lapisan batuan cadas dengan warna hitam yang timbul di atas permukaan tanah sehingga menyerupai bukit dan sebagian lapisan tersebut hanya terdapat beberapa meter di bawah permukaan tanah. Asbuton merupakan aspal alam yang tersedia di pulau Buton, serta merupakan penyedia aspal alam terbesar di dunia dengan persediaan yang sangat besar dengan deposit terdata sebagaimana yang tercantum pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Ketersediaan Asbuton di Pulau Buton

No.	Lokasi	Luas (m ²)	Tebal (m)	Kadar aspal (%)	Deposit (juta ton)
1.	Batuawu	550.000	76,1	20 – 40	60,69
2.	Mempenga	280.000	72	20 – 30	29,232
3.	Langunturu	420.000	61	20 – 25	37,149
4.	Kabukubuku	570.000	50	20 – 35	41,325
5.	Wangkaburu	460.000	62,8	20 - 35	41,888
6.	Siantopina	5000.000	25	Belum diketahui	181,25
7.	Ulala	1.500.000	21,65	Belum diketahui	47,089

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga (2006)

Partikel asbuton di dalam pemanfaatannya dikelompokkan berdasarkan kandungan *bitumennya* (Dairi, 1991), dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Klasifikasi Asbuton Murni

Asbuton	Kadar bitumen
Asbuton B10	9,0% - 11,4%
Asbuton B13	11,5% - 14,5%
Asbuton B16	14,6% - 17,9%

Asbuton	Kadar bitumen
Asbuton B20	18,0% - 22,5%
Asbuton B25	22,6% - 27,4%
Asbuton B30	27,5% - 32,25%

Sumber: Lasbutag, No. 09/PT/B/1983

Asbuton tergolong dalam aspal batu atau biasa disebut *rock asphalt* dengan bahan penyusun yang pada umumnya terdiri dari (Kusdiyanto & Laksono, 2000):

1. 30% bahan *bitumen* yaitu 68,42% *Asphaltenes* dan 31,58% *Maltenes*, dimana *Maltene* terdiri atas 17% *nitrogen bases*; 15,48% *acidaffins* 1; 4% *acidafins* 2 dan 4,88% *parafins*.
2. 65% bahan mineral dengan komposisi seperti pada tabel 3.
3. 5% bahan lain.

Tabel 3. Kandungan Mineral Asbuton

Mineral	Kandungan
Kalsium karbonat (CaCO_3)	81,62 – 85,21
Magnesium Karbonat (MgCO_3)	1,98 – 2,25
Kalsium Sulfat (CaSO_4)	1,25 – 1,70
Kalsium Sulfida (CaS)	0,17 – 0,33
Air Kablen/Hablur	1,30 – 2,15
Silika Oksida (SiO_2)	6,95 – 8,25
Aluminium Oksida (Al_2O_3) dan Feri Oksida (FeO_3)	2,15 – 2,84
Sisa	0,83 – 1,12

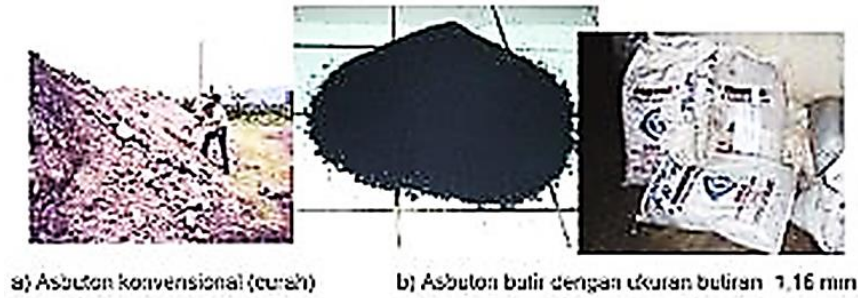
Sumber: (Soeprapto Totomihardjo, 1995)

Asbuton merupakan kombinasi dari beberapa material mineral, *bitumen* (aspal), dan air, serta sangat porous, relatif ringan dan pada umumnya mineral asbuton terdiri dari batu kapur. Asbuton sendiri pada sampai suhu 30°C , bersifat rapuh dan sangat mudah dipecah, sedangkan pada suhu di atas $40^\circ - 60^\circ\text{C}$ bersifat sedikit plastis dan sukar dipecah. Pada suhu $60^\circ - 100^\circ\text{C}$ bersifat plastis dan sukar pecah, dan akan hancur bila suhu mencapai $100^\circ - 150^\circ\text{C}$ (Kusdiyanto & Laksono, 2000).

Sedangkan proses terjadinya atau terbentuknya asbuton disebabkan oleh proses alam, maka dari itu asbuton sangat bervariasi mengandung *bitumen*. Terkadang asbuton tersebut mengandung cukup banyak aspal tetapi ada pula yang hanya mengandung sedikit aspal. Selain itu sifat asbuton sangat dipengaruhi oleh sifat porositas partikel, kondisi cuaca, kelembaban dan faktor sekelilingnya. Hal ini menyebabkan kadar asbuton sangat bervariasi juga terutama dipengaruhi oleh curah hujan. Tetapi pada umumnya kadar air yang terkandung dalam partikel asbuton berkisar antara 2% - 5% (Kusdiyanto & Laksono, 2000).

Sampai sekarang ada beberapa jenis Asbuton yang telah diproduksi secara fabrikasi atau manual, salah satunya yaitu Asbuton butir, Asbuton murni ekstraksi, dan Asbuton pra campuran. Untuk keunggulan Asbuton salah satunya yaitu titik lembeknya lebih tinggi jika dibandingkan dengan aspal minyak dan ketahanan Asbuton yang cukup tinggi terhadap panas

sehingga membuat Asbuton tidak mudah meleleh (OBSESI “Obrolab Seputar Sipil”- Asbuton, 2011).



Gambar 2. Asbuton

Sumber: OBSESI “Obrolab Seputar Sipil”- Asbuton, 2011

2.2 CPHMA

Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) adalah campuran panas asbuton yang dibuat sedemikian rupa sehingga dapat dihampar secara dingin untuk perkerasan jalan beraspal. Pencampuran ini dapat dilakukan secara pabrikasi atau di campur di pabrik secara panas lalu dipasarkan dalam keadaan siap dihampar dan dipadatkan dalam temperatur udara dingin. Untuk penggunaan teknologi CPHMA sendiri juga dibatasi hanya untuk jalan lalu lintas ringan sampai sedang dengan kapasitas kendaraan maksimal 1000 per harinya (Irawan & Jaja, 2018).



Gambar 3. Proses Penghamparan CPHMA



Gambar 4. Hasil Penghamparan CPHMA

Sumber: Widara (2020)

Tabel 4. Persyaratan CPHMA

Karakteristik campuran	Metode pengujian	Persyaratan	Satuan
Rongga diantara mineral agregat (VMA)	AASHTO 323-12	Minimum 16	%
Rongga dalam campuran (VIM)		4-10	%
Rongga terisi aspal (VFB)		Minimum 60	%
Stabilitas marshall, pada temperatur 25°C	ASTM 6927-06	Minimum 500	Kg
Pelelehan marshall		3-5	mm
Stabilitas sisa setelah direndam selama 2 x 24 jam pada temperatur 25°C		Minimum 60	%

Sumber: Kementerian PUPR Dirjen Bina Marga, (2016)

Beberapa keunggulan dari CPHMA antara lain: (Badan Penelitian dan Pengembangan PUPR, n.d.)

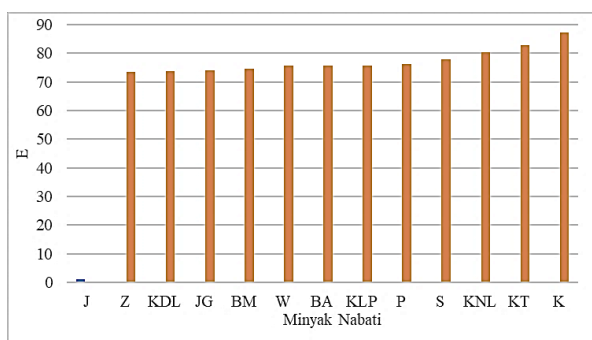
1. Sudah cukup banyak pabrik yang memproduksinya, utamanya di Sulawesi Tenggara, Jawa Tengah dan Jawa Timur.
2. Biaya produksi campuran dengan menggunakan asbuton dapat berkurang hingga sampai 25% dibanding aspal konvensional.
3. CPHMA sesuai untuk diaplikasikan di lokasi – lokasi terpencil, termasuk pulau – pulau yang tidak memiliki fasilitas unit pencampuran aspal panas.
4. Dari hasil pemantauan di lapangan menunjukkan bahwa setelah umur 3 – 4 tahun kerusakan perkerasan jalan relatif kecil yaitu berkisar antara 15% - 20%.

2.3 Pelarut

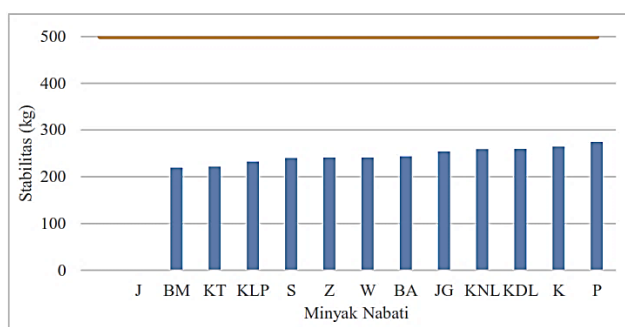
Pelarut adalah material yang ditambahkan pada asbuton dengan tujuan untuk melarutkan aspal (bitumen) asbuton sehingga berfungsi sebagai perekat atau pengikat agregat dalam perkerasan. Pelunak ini diperlukan karena asbuton bertekstur keras seperti batu tetapi mempunyai banyak rongga, sehingga dapat dengan mudah diresapi pelarut asbuton (Dalimin, 1980). Fungsi dari pelarut adalah sebagai berikut ini:

1. Mempercepat pergerakan bitumen murni yang ada di dalam asbuton
2. Mengubah komposisi bitumen asbuton yang ada supaya optimal terhadap ketahanan, viskositas, dan stabilitas.
3. Mengubah viskositas dari jumlah bitumen bebas dalam lasbutag, hingga batas optimum untuk pencampuran dan pemadatan.

Minyak kemiri sebagai material pelarut Asbuton didasari oleh penelitian Djakfar et al. (2020), dimana hasil penelitian untuk pengujian *Liquid –Liquid Exctraction Test* (LLE Test) dan Marshall menunjukkan adanya potensi dari minyak kemiri yang lebih tinggi dibanding 12 material lainnya.



Gambar 5. Hasil Uji LLE



Gambar 6. Hasil Uji Marshall Minyak Kemiri dan 12 Minyak Nabati Lainnya

Sumber: Djakfar, Wisnumurti and Khamelda (2020)

Dari hasil uji LLE, minyak kemiri menunjukkan kemampuannya dalam melarutkan aspal asbuton hingga 87,27%. Hal ini berarti, jika diasumsikan kadar aspal asbuton sebesar 25% dari total asbuton (238,9 gr), maka aspal yang berhasil dilarutkan oleh minyak kemiri adalah sebesar

87,27% ($25\% \times 238,9 \text{ gr}$) = 52,12 gr. Adapun nilai stabilitas minyak kemiri tidak yang tertinggi, kemungkinan disebabkan karena kuantitas aspal yang seharusnya dilarutkan oleh minyak ternyata tidak sebesar hasil dari uji LLE. Hal ini mungkin terjadi karena adanya reaksi dari senyawa di minyak kemiri yang melemahkan ikatan perkerasan.

Seperti namanya, minyak kemiri berbahan dasar dari biji kemiri yang di sangrai dan di haluskan lalu diperas untuk diambil minyak nya. Kemiri sendiri memiliki kandungan asam omega-3 dan berbagai jenis vitamin, seperti vitamin A, vitamin E dan vitamin F yang sangat berguna bagi kebutuhan manusia terutama dalam bidang kesehatan. Minyak kemiri sudah dapat ditemukan dipasar atau swalayan terdekat karena produksi minyak kemiri sudah merambat ke dalam produksi rumahan.



Gambar 7. Minyak dan Buah Kemiri
Sumber: Widyananda (2020)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini, jenis penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan data hasil pengujian. Kuantitatif memiliki arti mendeskripsikan atau menggambarkan fenomena atau sebuah fakta penelitian secara apa adanya dan jenis data yang berbentuk numerik atau sistem angka.

3.2 Obyek Penelitian

Penelitian difokuskan pada proses pencampuran CPHMA, hal ini didasari oleh pemikiran bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja CPHMA adalah pada proses pencampuran. Proses pencampuran diperkirakan akan dipengaruhi oleh karakteristik campuran, suhu pemanasan dan durasi pemanasan. Berdasarkan pemikiran adanya faktor yang mempengaruhi kinerja CPHMA tersebut, maka pada campuran CPHMA diberikan perlakuan berupa variasi suhu pemanasan untuk membuktikan jika suhu pemanasan memberikan pengaruh terhadap kinerja CPHMA.

Obyek penelitian berupa 15 sampel berbentuk briket dan merupakan simulasi dari lapisan perkerasan CPHMA yang terdiri atas agregat (761,1 gr), pelarut (23,9 gr) dan asbuton (238,9 gr). Sampel mendapat perlakuan dengan variasi suhu pemanasan yang merupakan variabel X

yaitu 100°C, 150°C dan 200°C, 5 sampel untuk setiap varian. Durasi pemanasan dan kuantitas pelarut yang merupakan variabel Y berdasarkan penelitian Djakfar et al. (2020a).

Tabel 5. Komposisi Agregat

No.	Lolos Saringan	Tertahan Saringan	Berat (gr)
1	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	47,0
2	$\frac{1}{2}$ "	No. 4	352,5
3	No. 4	No. 8	149,5
4	No. 8	No. 50	186,3
5	No. 50	No. 200	13,7
6	No. 200	Pan	12,1
			761,1

Sumber: (Djakfar et al., 2020a)

Tabel 6. Rancangan Penelitian

No.	Variabel X			Variabel Y
	100°C	150°C	200°C	
1	A	A	A	- Durasi Pemanasan = 40 mnt - Kuantitas Pelarut = 23,9 gr
2	B	B	B	
3	C	C	C	
4	D	D	D	
5	E	E	E	

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui tahapan pengujian marshall, mulai persiapan sampel hingga pengujian stabilitas. Pada penelitian Djakfar et al. (2020b), diperoleh metode modifikasi dengan penambahan proses pendiaman setelah proses perendaman. Metode ini memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional. Adapun penerapan proses tersebut di lapangan, dapat berupa penundaaan penggunaan jalan selama 1 hari, setelah proses pemadatan. Berikut tahapan pelaksanaan Uji Marshall:

1. Penimbangan

Dalam proses penimbangan terdapat tiga item yang ditimbang beratnya yaitu agregat, asbuton dan pelarut dengan menggunakan timbangan digital.

2. Pencampuran

Setelah ditimbang, ketiga material tersebut dicampurkan dalam wadah pada suhu ruang untuk mendapatkan campuran yang homogen.

3. Pemanasan

Seluruh campuran dimasukkan ke dalam oven dan dipanaskan dengan suhu 100°C, 150°C dan 200°C selama 40 mnt. Variasi suhu pada proses pemanasan bertujuan untuk mengetahui suhu terbaik yang mampu melunakkan mineral dan aspal di asbuton sehingga aspal yang terkandung atau terperangkap di mineral tersebut dapat dilarutkan dengan maksimal.

4. Pemasatan

Setelah dipanaskan, campuran di masukkan ke dalam *mold*, kemudian campuran ditusuk-tusuk 15 kali pada bagian tengah dan 10 kali pada bagian pinggir, kemudian campuran dipadatkan dengan 75 kali tumbukan di kedua sisinya dengan menggunakan *compactor* hingga berbentuk briket.

5. Pendiaman ke-1

Briket yang sudah dipadatkan kemudian didiamkan selama 24 jam dengan suhu ruang.

6. Pengukuran

Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan berat kering, tinggi dan diameter briket dengan menggunakan timbangan digital dan jangka sorong untuk setiap sampel.

7. Perendaman

Setelah pengukuran, briket tersebut direndam selama 24 jam.

8. Pengukuran

Setelah direndam, briket ditimbang untuk mengetahui berat dalam air serta berat SSD dengan menggunakan timbangan dunagan dan timbangan digital.

9. Pendiaman ke-2

Setelah pengukuran, briket didiamkan untuk kedua kalinya selama 24 jam.

10. *Waterbath*

Setelah didiamkan, pada hari ke-3 briket dimasukkan ke dalam *Waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 mnt untuk setiap sampel.

11. Uji Marshall

Uji marshall dilakukan dengan menggunakan compression dimana alat tersebut akan memberikan penekanan yang merupakan simulasi dari beban statis lalu lintas. Penekanan dilakukan hingga briket mengalami keruntuhan, hal ini dapat terlihat dari arloji *flow* dimana pada saat terjadi keruntuhan maka jarum tersebut akan berputar berlawanan dengan arah jarum jam. Adapun beban maksimal yang dapat diterima oleh briket akan terlihat pada arloji stabilitas.

3.5 Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari pengujian kemudian diolah berdasarkan ketentuan pengujian Marshall yang bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter marshall yang menunjukkan kinerja dari perkerasan.

3.5.1 Stabilitas Marshall

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban tanpa mengalami perubahan bentuk tetap. Stabilitas menunjukkan kemampuan maksimum benda uji campuran

beraspal dalam menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis, yang dinyatakan dalam satuan beban. Kelelahan plastis merupakan kondisi pada saat terjadinya perubahan bentuk perkerasan yang diakibatkan oleh pembebanan, sampai pada batas runtuh (deformasi) (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006a). Nilai stabilitas akan naik seiring dengan bertambahnya kadar aspal hingga mencapai puncaknya pada Kadar Aspal Optimum (KAO). Setelah mencapai KAO, maka penambahan kadar aspal akan menurunkan nilai stabilitas (Laboratorium Rekayasa Jalan ITB, 2001)

Tabel 7. Pengolahan Nilai Stabilitas Marshall

No.	Data	Pengolahan	Satuan
1	Pembacaan Arloji Stabilitas (o)	diukur	Div
2	Faktor Kalibrasi (w)	29,03 (ditetapkan berdasarkan kalibrasi alat)	lbf/div
3	Angka Korelasi (x)	Berdasarkan tabel koreksi untuk dimensi dan volume	--
4	Konversi lbf ke kg (y)	0,45	kg/lbf
5	Nilai Stabilitas (p)	$o \cdot w$	Lbf
6	Nilai Stabilitas (q)	$p \cdot y \cdot x$	Kg

Tabel 8. Korelasi Nilai Stabilitas

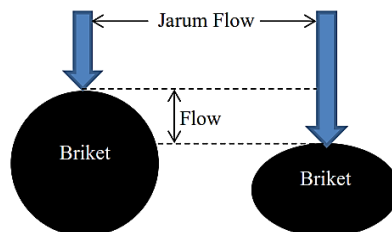
Isi benda uji (cm ³)	Tebal benda uji (mm)	Angka korelasi
200 – 213	25,4	5,55
214 – 225	27,0	5,00
226 – 237	28,6	4,55
238 - 250	30,2	4,17
251 – 264	31,8	3,85
265 – 276	33,3	3,57
277 – 289	34,9	3,33
290 - 301	36,5	3,03
302 – 316	38,1	2,78
317 – 328	39,7	2,50
329 – 340	41,3	2,27
341 – 353	42,9	2,08
354 – 367	44,4	1,92
368 – 379	46,0	1,79
380 – 392	47,6	1,67
393 – 405	49,2	1,56
406 – 420	50,8	1,47
421 -431	52,4	1,39
432 – 443	54,0	1,32
444 – 456	55,6	1,25
457 – 470	57,2	1,19
471 – 482	58,7	1,14
483 – 495	60,3	1,09
496 – 508	61,9	1,04
509 – 522	63,5	1,00
523 – 535	65,1	0,96
536 – 546	66,7	0,93
547 – 559	68,3	0,89

Isi benda uji (cm ³)	Tebal benda uji (mm)	Angka korelasi
560 – 573	69,9	0,86
574 – 585	71,4	0,83
586 – 598	73,0	0,81
599 – 610	74,6	0,78
611 - 625	76,2	0,76

Sumber: Laboratorium Rekayasa Jalan ITB (2001)

3.5.2 Pelelehan (*Flow*)

Flow atau pelelehan merupakan deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun dimana nilai *flow* akan naik sesuai penambahan nilai stabilitas dan kadar aspal (Laboratorium Rekayasa Jalan ITB, 2001). *Flow* menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006b). Batas keruntuhan ditunjukkan dari turunnya (kembali) nilai pada arloji Marshall yang menandakan bahwa perkerasan telah mengalami keruntuhan, kehancuran atau deformasi, adapun pada arloji *flow* akan menunjukkan tebal perkerasan dalam kondisi yang lebih mampat (dalam milimeter) dan getas hingga terjadinya keruntuhan.

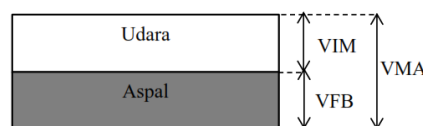


Gambar 8. Ilustrasi Pembaca Nilai *Flow*

Tabel 9. Pengolahan Nilai *Flow*

No.	Data	Pengolahan	Satuan
1	Pembacaan Arloji <i>Flow</i> (r)	diukur	div
2	Nilai <i>Flow</i>	$r \cdot 0,01 \text{ mm/div}$	mm

3.5.3 Rongga dalam Campuran



Gambar 10. Ilustrasi Rongga dalam Campuran

Untuk perhitungan volume rongga dalam briket (campuran padat) dibagi menjadi 3, yaitu:

A. *Void In Mineral Agregat* (VMA)

VMA menunjukkan volume rongga di antara partikel agregat pada suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji

campuran (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006b). Nilai VMA akan turun hingga mencapai suatu nilai minimum kemudian akan naik lagi sesuai penambahan kadar aspal (Laboratorium Rekayasa Jalan ITB, 2001). Agregat yang bergradasi rapat akan memberikan nilai VMA yang kecil dibanding agregat bergradasi senjang. Semakin besar nilai VMA menunjukkan semakin besar ruang yang dapat diselimuti aspal (Mamangkey et al., 2013) yang akan meningkatkan ikatan agregat dalam perkerasan. VMA merupakan rongga yang terisi oleh udara dan aspal pada campuran yang telah dipadatkan (briket) tetapi tidak termasuk aspal yang terserap oleh agregat.

Tabel 10. Pengolahan Nilai VMA

No.	Data	Pengolahan	Satuan
1	% Aspal terhadap Campuran	6% (Job Mix Formula)	%
2	% Agregat terhadap Campuran	100% - b	%
3	Berat Kering Briket (c)	ditimbang	gr
4	Berat SSD Briket (d)	ditimbang	gr
5	Berat dalam Air Briket (e)	ditimbang	gr
6	Berat Isi Briket (f)	d – e	gr
7	Berat Isi Benda Uji Briket (g)	c / f	gr
8	Berat Campuran	1000 (ketetapan AASHTO)	gr
9	Berat Aspal	b . c	gr
10	Berat Pelarut	20% . Berat Asbuton	gr
11	Berat Agregat	Berat Campuran – Berat Aspal – Berat Pelarut	gr
12	BJ Air	1 (ketetapan)	gr/cm ³
13	Volume Campuran	(c – e) / BJ Air	cm ³
14	BJ Aspal (v)	1,04 (ketetapan)	gr/cm ³
15	Volume Aspal	(b . c) / v	cm ³
16	BJ Pelarut	0,92 (ketetapan, BJ Minyak Kemiri)	gr/cm ³
17	Volume Pelarut	Berat Pelarut / BJ Pelarut	cm ³
18	Volume Agregat	Volume Campuran – Volume Aspal – Volume Pelarut	cm ³
19	BJ Agregat (u)	Berat Agregat / Volume Agregat	gr/cm ³
20	j	(t . g) / u	--
21	Nilai VMA	100% - j	%

B. Void Filled With Bitumen (VFB)

VFB menunjukkan volume ruang diantara VMA yang terisi aspal tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat, dinyatakan dalam prosentase (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006b). Nilai VFB akan semakin naik seiring penambahan kadar aspal karena rongga semakin banyak terisi dengan aspal (Laboratorium Rekayasa Jalan ITB, 2001).

Tabel 11. Pengolahan Nilai VFB

No.	Data	Pengolahan	Satuan
1	% Aspal terhadap Campuran (b)	6% (Job Mix Formula)	%
2	Berat Isi Benda Uji Briket (g)	c / f	gr

No.	Data	Pengolahan	Satuan
3	BJ Aspal (v)	1,04 (ketetapan)	gr/cm ³
4	i	(b . g) / v	--
5	j	(t . g) / u	--
6	Nilai VFB	100% - (i / j)	%

C. Voids In Mix (VIM)

VIM menunjukkan volume ruang udara di antara partikel agregat yang diselimuti aspal dalam satu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam prosentase (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006b). Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal agregat jadi semakin tinggi nilainya berarti semakin besar pula rongga dalam campuran. Nilai VIM akan semakin turun sesuai penambahan kadar aspal karena rongga yang tersedia semakin banyak terisi aspal sehingga mengurangi rongga udara (Laboratorium Rekayasa Jalan ITB, 2001).

Nilai VIM diatas batas maksimal mengindikasikan potensi proses penuaan aspal semakin besar sebagai akibat banyaknya pori dalam perkerasan. Banyaknya pori di dalam perkerasan berpotensi mengandung banyak udara (oksigen) yang akan menyebabkan proses oksidasi pada aspal dan mempercepat proses aging (*hardening*) sehingga perkerasan akan mudah retak (Kasan, 2009).

Tabel 12. Pengolahan Nilai VIM

No.	Data	Pengolahan	Satuan
1	Berat Isi Benda Uji Briket (g)	c / f	gr
2	% Agregat terhadap Campuran (t)	100% - b	%
3	BJ Agregat (u)	Berat Agregat / Volume Agregat	gr/cm ³
4	% Aspal terhadap Campuran	6% (Job Mix Formula)	%
5	BJ Aspal (v)	1,04 (ketetapan)	gr/cm ³
6	BJ Maksimum (h)	$100 / \{[(t / u) 100] + [(b / v) 100]\}$	gr/cm ³
7	Nilai VIM	100% - (100% (g / h))	%

3.5.4 Marshall Quotient (MQ)

MQ merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dengan *flow* yang menunjukkan besarnya beban yang dibutuhkan untuk menyebabkan penurunan tiap mm perkerasan. Kekuatan perkerasan yang ditunjukkan dengan MQ memberikan perbandingan antara variasi campuran untuk beban maksimal yang mampu diterima oleh perkerasan. Semakin tinggi nilai MQ menunjukkan kekuatan perkerasan yang semakin tinggi pula karena dibutuhkan beban yang lebih berat untuk menyebabkan perkerasan hingga mengalami penurunan (deformasi).

Tabel 13. Pengolahan Nilai VIM

No.	Data	Pengolahan	Satuan
1	Nilai Stabilitas (q)	p . y . x	kg
2	Nilai <i>Flow</i>	r . 0,01 mm/div	mm
3	MQ	q / Nilai <i>Flow</i>	kg/mm

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Stabilitas Marshall

Kode Sampel = A-100°C

Pembacaan Arloji Stabilitas (o) = 44 div (diukur)

Faktor Kalibrasi (w) = 29,03 lbf/div (ditetapkan berdasarkan kalibrasi alat)

Angka Korelasi (x) = 1,14 (untuk volume 495 – 507 cm³)

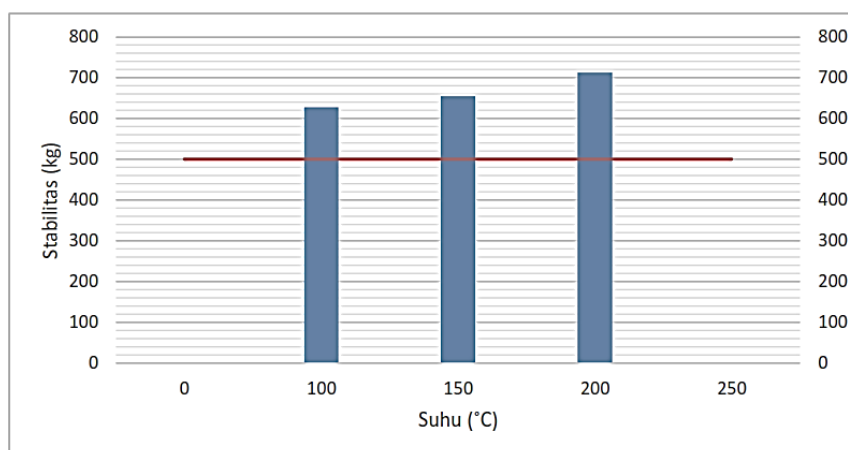
Konversi lbf ke kg (y) = 0,45 kg/lbf

Nilai Stabilitas (p) = o . w
= 44 div . 29,03 lbf/div = 1277,32 lbf

Nilai Stabilitas (q) = p . y . x
= 1277,32 lbf . 0,45 kg/lbf . 1,14 = 661,99 kg

Tabel 14. Hasil Perhitungan Stabilitas Marshall

	No.	Kode	Pembacaan Arloji Stabilitas	Faktor Kalibrasi	Angka Korelasi	Konversi lbf ke kg	Nilai Stabilitas	Nilai Stabilitas	Rerata
Satuan			Div	lbf/div		kg/lbf	lbf	kg	kg
Notasi			(o)	(w)	(x)	(y)	(p)	(q)	
	1	A-100	44	29,03	1,14	0,45	1277,32	661,09	627,7
	2	B-100	48	29,03	1,09	0,45	1393,44	689,56	
	3	C-100	41	29,03	1,14	0,45	1190,23	616,02	
	4	D-100	40	29,03	1,14	0,45	1161,20	600,99	
	5	E-100	38	29,03	1,14	0,45	1103,14	570,94	
	6	A-150	38	29,03	1,09	0,45	1103,14	545,90	654,3
	7	B-150	45	29,03	1,19	0,45	1306,35	705,77	
	8	C-150	30	29,03	1,14	0,45	870,90	450,74	
	9	D-150	43	29,03	1,14	0,45	1248,29	646,06	
	10	E-150	46	29,03	1,14	0,45	1335,38	691,14	
	11	A-200	49	29,03	1,14	0,45	1422,47	736,21	712,2
	12	B-200	40	29,03	1,14	0,45	1161,20	600,99	
	13	C-200	47	29,03	1,14	0,45	1364,41	706,16	
	14	D-200	44	29,03	1,14	0,45	1277,32	661,09	
	15	E-200	57	29,03	1,14	0,45	1654,71	856,41	



Gambar 11. Grafik Perbandingan Stabilitas Vs Suhu Pemanasan

Berdasarkan nilai stabilitas marshall, dapat terlihat bahwa rerata nilai stabilitas untuk ketiga variasi suhu memenuhi standar CPHMA yaitu diatas nilai stabilitas minimum (500 kg). Nilai stabilitas tertinggi didapatkan dari variasi suhu 200°C dengan rerata nilai stabilitas sebesar 712,2 kg. Semakin tinggi nilai stabilitas maka akan menghasilkan perkerasan yang lebih baik, karena menunjukkan beban maksimal yang dapat didukung oleh perkerasan.

4.2 Flow

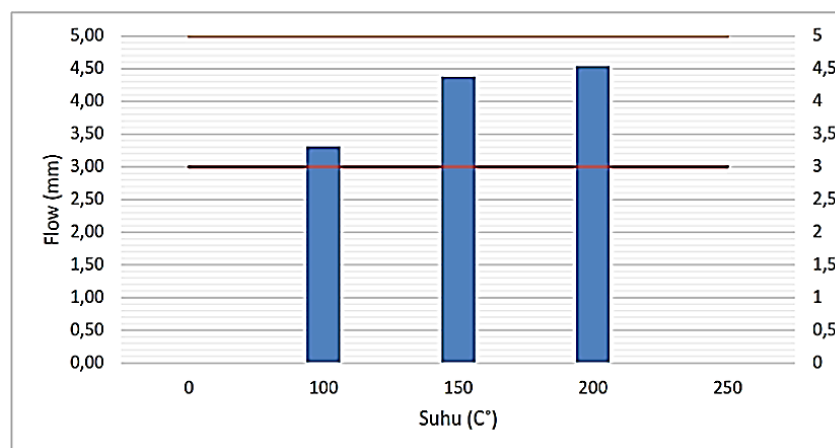
Kode Sampel = A-100°C

Pembacaan Arloji Flow (r) = 244 div (diukur)

Nilai Flow = $r \cdot 0,01 \text{ mm/div} = 244 \text{ div} \cdot 0,01 \text{ mm/div} = 2,44 \text{ mm}$

Tabel 15. Hasil Perhitungan Flow

	No.	Kode	Pembacaan	Nilai Flow	Rerata
Satuan			div	mm	mm
Notasi			(r)		
	1	A-100	244	2,7	3,31
	2	B-100	415	4,1	
	3	C-100	270	2,98	
	4	D-100	258	2,56	
	5	E-100	420	4,2	
	6	A-150	485	4,66	4,38
	7	B-150	485	4,73	
	8	C-150	590	5,95	
	9	D-150	527	4,33	
	10	E-150	412	4,12	
	11	A-200	418	4,18	4,54
	12	B-200	291	3,1	
	13	C-200	143	1,8	
	14	D-200	270	2,7	
	15	E-200	468	4,9	



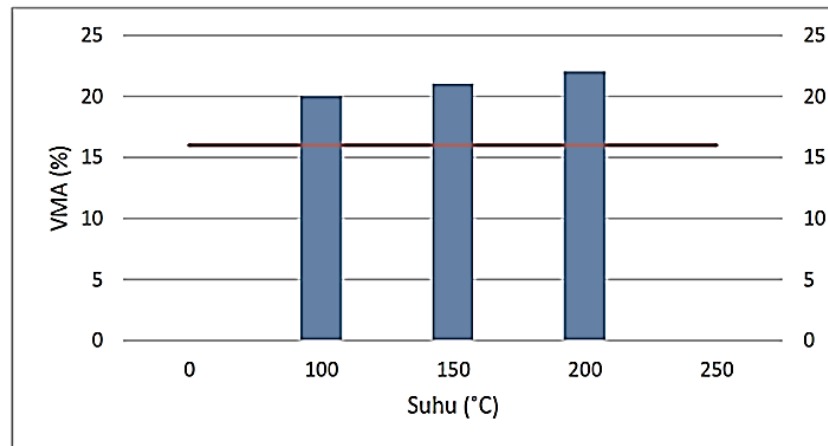
Gambar 12. Grafik Perbandingan Flow Vs Suhu Pemanasan

Berdasarkan nilai flow, dapat terlihat bahwa rerata nilai flow untuk ketiga variasi suhu memenuhi standar CPHMA yaitu diatas nilai minimum (3 mm) dan di bawah nilai maksimum

(5 mm). Nilai flow tertinggi didapatkan dari variasi suhu 200°C dengan rerata nilai *flow* sebesar 4,54 mm. Semakin tinggi nilai *flow* maka akan menghasilkan perkerasan yang lebih baik, karena idealnya nilai *flow* berbanding lurus dengan nilai stabilitas. Jika nilai *flow* relatif besar maka akan dibutuhkan pembebanan yang besar pula untuk menyebabkan deformasi pada perkerasan.

4.3 Void in Mineral Agregat (VMA)

Kode Sampel	= A-100°C
% Aspal terhadap Campuran (b)	= 6% (Job Mix Formula)
% Agregat terhadap Campuran (t)	= 100% - b = 100% - 6% = 0,94 %
Berat Kering Briket (c)	= 1012,5 gr (ditimbang)
Berat SSD Briket (d)	= 1024,9 gr (ditimbang)
Berat dalam Air Briket (e)	= 548 gr (ditimbang)
Berat Isi Briket (f)	= d - e = 1024,9 gr - 548 gr = 476,9 gr
Berat Isi Benda Uji Briket (g)	= c / f = 1012,5 gr / 476,9 gr = 2,12 gr
Berat Campuran	= 1000 gr (ketetapan AASHTO)
Berat Aspal	= b . c = 6% . 1012,5 gr = 60,75 gr
Berat Pelarut	= 20% . Berat Asbuton = 20% . 239 gr = 47,8 gr
Berat Agregat	= Berat Campuran - Berat Aspal - Berat Pelarut = 1000 gr - 60,75 gr - 47,8 gr = 891,45 gr
BJ Air	= 1 gr/cm ³ (ketetapan)
Volume Campuran	= (c - e) / BJ Air = (1012,5 gr - 548 gr) / 1 gr/cm ³ = 464,5 cm ³
BJ Aspal (v)	= 1,04 gr/cm ³ (ketetapan)
Volume Aspal	= (b . c) / v = (6% . 1012,5 gr) / 1,04 gr/cm ³ = 58,58 cm ³
BJ Pelarut	= 0,92 gr/cm ³ (ketetapan)
Volume Pelarut	= Berat Pelarut / BJ Pelarut = 47,8 gr / 0,92 gr/cm ³ = 51,96 cm ³
Volume Agregat	= Volume Campuran - Volume Aspal - Volume Pelarut = 465,5 cm ³ - 58,58 cm ³ - 51,96 cm ³ = 353,96 cm ³
BJ Agregat (u)	= Berat Agregat / Volume Agregat = 891,45 gr / 353,96 cm ³ = 2,52 gr/cm ³
(j)	= (t . g) / u = (0,94 . 2,12 gr) / 2,52 gr/cm ³ = 0,79
VMA	= 100% - j = 100% - 0,79 = 0,21 = 21%



Gambar 13. Grafik Hubungan VMA vs Suhu Pemanasan

Berdasarkan nilai VMA, dapat terlihat bahwa rerata nilai VMA untuk ketiga variasi suhu memenuhi standar CPHMA yaitu diatas nilai VMA minimum (16%). Nilai VMA tertinggi didapatkan dari variasi suhu 200°C dengan rerata nilai VMA sebesar 22%. Semakin tinggi nilai VMA maka akan menghasilkan perkerasan yang lebih baik, karena rongga yang tersedia untuk diisi oleh aspal akan semakin besar.

Tabel 16. Hasil Perhitungan VMA

No.	Kode	% Aspal terhadap Campuran	% Agregat terhadap Campuran	Berat Kering Briket	Berat SSD Briket	Berat dalam Air Briket	Berat Isi Briket	Berat Isi Benda Uji Briket	Berat Campuran	Berat Aspal	Berat Pelarut
		%	%	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr
		(b)	(t)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)			
1	A-100	6	0,94	1012,5	1024,9	548	476,9	2,12	1000	60,75	47,8
2	B-100	6	0,94	1028,9	1039,6	555	484,6	2,12	1000	61,73	47,8
3	C-100	6	0,94	1016	1028,2	552	476,2	2,13	1000	60,96	47,8
4	D-100	6	0,94	1021,9	1034,1	556	478,1	2,14	1000	61,31	47,8
5	E-100	6	0,94	1017,6	1031	557	474	2,15	1000	61,06	47,8
6	A-150	6	0,94	1032,9	1049	561	488	2,12	1000	61,97	47,8
7	B-150	6	0,94	1000,4	1011,8	550	461,8	2,17	1000	60,02	47,8
8	C-150	6	0,94	1016,8	1030,2	554	476,2	2,14	1000	61,01	47,8
9	D-150	6	0,94	1017,2	1030,8	552	478,8	2,12	1000	61,03	47,8
10	E-150	6	0,94	1017	1031,4	553	478,4	2,13	1000	61,02	47,8
11	A-200	6	0,94	1009,3	1028,8	550	478,8	2,11	1000	60,56	47,8
12	B-200	6	0,94	1006,6	1021,4	550	471,4	2,14	1000	60,40	47,8
13	C-200	6	0,94	1015,5	1029,8	551	478,8	2,12	1000	60,93	47,8
14	D-200	6	0,94	1013,8	1030,7	553	477,7	2,12	1000	60,83	47,8
15	E-200	6	0,94	1015	1027,2	555	472,2	2,15	1000	60,90	47,8

Berat Agregat	BJ Air	Volume Campuran	BJ Aspal	Volume Aspal	BJ Pelarut	BJ Pelarut	Volume Pelarut	Volume Agregat	BJ Agregat		VMA	rerata
gr	gr/cm3	cm3	gr/cm3	cm3	gr/cm3	Gr	cm3	cm3	gr/cm3		%	%
			(v)						(u)	(j)		
891,45	1	464,5	1,04	58,58	0,92	47,8	51,96	353,96	2,52	0,79	21	20
890,47	1	473,9	1,04	59,53	0,92	47,8	51,96	362,41	2,46	0,81	19	
891,24	1	464	1,04	58,78	0,92	47,8	51,96	353,26	2,52	0,79	21	
890,89	1	465,9	1,04	59,13	0,92	47,8	51,96	354,82	2,51	0,80	20	
891,14	1	460,6	1,04	58,88	0,92	47,8	51,96	349,77	2,55	0,79	21	
890,23	1	471,9	1,04	59,76	0,92	47,8	51,96	360,18	2,47	0,80	20	21
892,18	1	450,4	1,04	57,88	0,92	47,8	51,96	340,56	2,62	0,78	22	
891,19	1	462,8	1,04	58,83	0,92	47,8	51,96	352,01	2,53	0,79	21	
891,17	1	465,2	1,04	58,85	0,92	47,8	51,96	354,39	2,51	0,79	21	
891,18	1	464	1,04	58,84	0,92	47,8	51,96	353,20	2,52	0,79	21	
891,64	1	459,3	1,04	58,4	0,92	47,8	51,96	348,95	2,56	0,78	22	22
891,80	1	456,6	1,04	58,24	0,92	47,8	51,96	346,40	2,57	0,78	22	
891,27	1	464,5	1,04	58,76	0,92	47,8	51,96	353,79	2,52	0,79	21	
891,37	1	460,8	1,04	58,66	0,92	47,8	51,96	350,19	2,55	0,78	22	
891,30	1	460	1,04	58,73	0,92	47,8	51,96	349,32	2,55	0,79	21	

4.4 Void Filled with Bitumen (VFB)

% Aspal terhadap Campuran (b) = 6% (dari perhitungan VMA)

Berat Isi Benda Uji Briket (g) = 2,12 gr (dari perhitungan VMA)

BJ Aspal (v) = 1,04 gr/cm³ (dari perhitungan VMA)

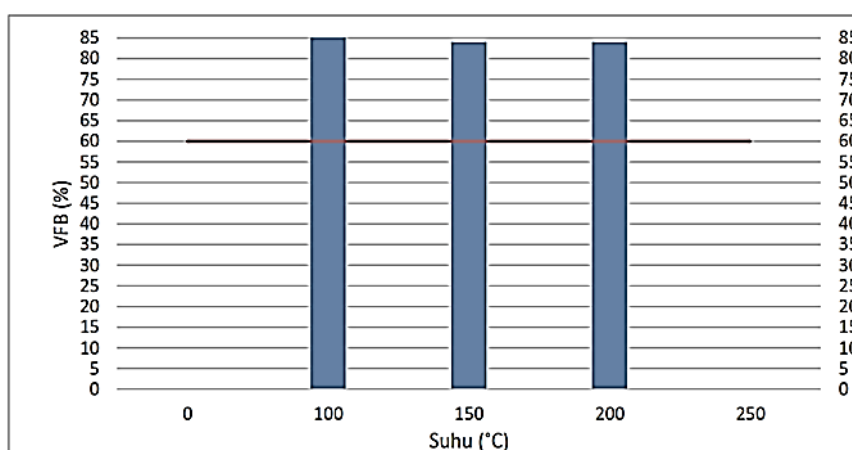
(i) = $(b \cdot g) / v = (6\% \cdot 2,13) / 1,04 = 0,12$

(j) = 0,79 (dari perhitungan VMA)

VFB = $100\% - (i / j) = 100\% - (0,12 / 0,79) = 0,84 = 84\%$

Tabel 17. Hasil Perhitungan VFB

	No.	Kode	% Aspal Terhadap Campuran	Berat Isi Benda Uji Briket	BJ Aspal			VFB	Rerata
Satuan			%	gr	gr/cm ³			%	
Notasi			(b)	(g)	(v)	(i)	(j)		
	1	A-100	6	2,12	1,04	0,12	0,79	84	85
	2	B-100	6	2,12	1,04	0,12	0,81	85	
	3	C-100	6	2,13	1,04	0,12	0,79	84	
	4	D-100	6	2,14	1,04	0,12	0,80	85	
	5	E-100	6	2,15	1,04	0,12	0,79	84	
	6	A-150	6	2,12	1,04	0,12	0,80	85	84
	7	B-150	6	2,17	1,04	0,12	0,78	84	
	8	C-150	6	2,14	1,04	0,12	0,79	84	
	9	D-150	6	2,12	1,04	0,12	0,79	85	
	10	E-150	6	2,13	1,04	0,12	0,79	84	
	11	A-200	6	2,11	1,04	0,12	0,78	84	84
	12	B-200	6	2,14	1,04	0,12	0,78	84	
	13	C-200	6	2,12	1,04	0,12	0,79	84	
	14	D-200	6	2,12	1,04	0,12	0,78	84	
	15	E-200	6	2,15	1,04	0,12	0,79	84	



Gambar 14. Grafik Hubungan VFB Vs Suhu Pemanas

Berdasarkan nilai VFB, dapat terlihat bahwa rerata nilai VFB untuk ketiga variasi suhu memenuhi standar CPHMA yaitu diatas nilai VFB minimum (60%). Nilai VFB tertinggi didapatkan dari variasi suhu 100°C dengan rerata nilai VFB sebesar 85%. Jika KAO telah ditentukan, maka semakin rendah tinggi VFB maka semakin baik perkerasan, karena

menandakan semakin banyak kadar aspal yang mengikat agregat tetapi dalam batas kadar aspal yang dibutuhkan oleh perkerasan.

4.5 Void in Mixture (VIM)

Berat Isi Benda Uji Briket (g) = 2,12 gr (dari perhitungan VMA)

% Agregat terhadap Campuran (t) = 0,94 (dari perhitungan VMA)

BJ Agregat (u) = 2,52 gr/cm³ (dari perhitungan VMA)

% Aspal terhadap Campuran (b) = 6% (dari perhitungan VMA)

BJ Aspal (v) = 1,04 gr/cm³ (dari perhitungan VMA)

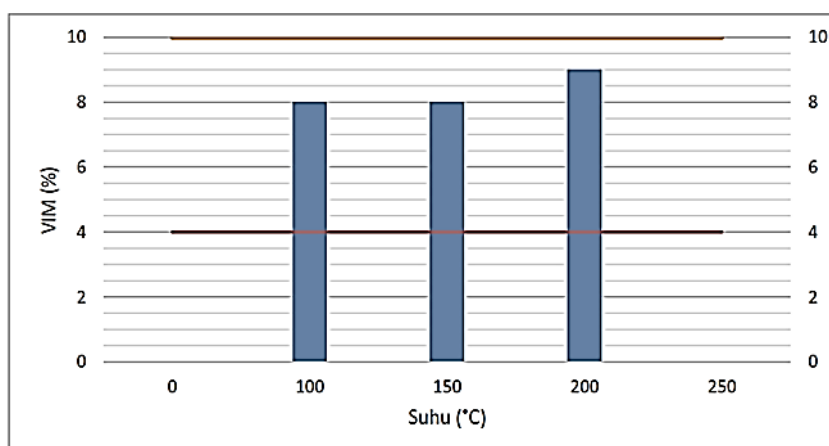
BJ Maksimum (h) = $100 / \{[(t / u) 100] + [(b / v) 100]\}$
 $= 100 / \{[(0,94 / 2,52 \text{ gr/cm}^3) 100] + [(6\% / 1,04 \text{ gr/cm}^3) 100]\}$
 $= 2,32 \text{ gr/cm}^3$

VIM = $100\% - (100\% (g / h))$
 $= 100\% - (100\% (2,12 / 2,32)) = 0,08 = 8\%$

Tabel 18. Hasil Perhitungan VIM

	No.	Kode	Berat Isi Benda Uji Briket	% Agregat terhadap Campuran	BJ gregat	% Aspal terhadap Campuran	BJ Aspal	BJ Maks	VIM	Rerata
Satuan			gr	%	gr/cm ³	%	gr/cm ³	gr/cm ³	%	%
Notasi			(g)	(t)	(u)	(b)	(v)	(h)		
	1	A-100	2,12	0,94	2,52	6	1,04	2,32	8	8
	2	B-100	2,12	0,94	2,46	6	1,04	2,27	6	
	3	C-100	2,13	0,94	2,52	6	1,04	2,32	8	
	4	D-100	2,14	0,94	2,51	6	1,04	2,31	8	
	5	E-100	2,15	0,94	2,55	6	1,04	2,34	8	
	6	A-150	2,12	0,94	2,47	6	1,04	2,28	7	8
	7	B-150	2,17	0,94	2,62	6	1,04	2,40	10	
	8	C-150	2,14	0,94	2,53	6	1,04	2,33	8	
	9	D-150	2,12	0,94	2,51	6	1,04	2,32	8	
	10	E-150	2,13	0,94	2,52	6	1,04	2,32	9	
	11	A-200	2,11	0,94	2,56	6	1,04	2,35	10	9
	12	B-200	2,14	0,94	2,57	6	1,04	2,36	10	
	13	C-200	2,12	0,94	2,52	6	1,04	2,32	9	
	14	D-200	2,12	0,94	2,55	6	1,04	2,34	9	
	15	E-200	2,15	0,94	2,55	6	1,04	2,35	8	

Berdasarkan nilai VIM, dapat terlihat bahwa rerata nilai VIM untuk ketiga variasi suhu memenuhi standar CPHMA yaitu dalam batas 4 – 10 %. Nilai VIM tertinggi didapatkan dari variasi suhu 200°C dengan rerata nilai VFB sebesar 9%. Nilai VIM diatas batas standar akan menyebabkan perkerasan mudah keropos karena rongga yang terisi udara relatif besar. Adapun nilai VIM dibawah standar akan menyebabkan perkerasan tidak leluasa bersifat elastis sehingga akan mempercepat timbulnya patahan (retakan), seperti terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Hubungan VIM Vs Suhu Pemanasan

4.6 Marshall Quotient (MQ)

Kode Sampel = A-100°C

Nilai Stabilitas (q) = 661,99 kg (dari perhitungan stabilitas marshall)

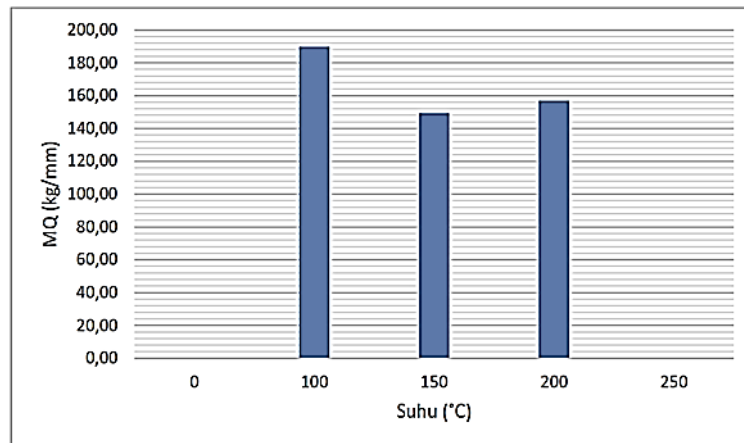
Nilai Flow = 2,44 mm (dari perhitungan flow)

MQ = $q / \text{nilai flow} = 661,99 \text{ kg} / 2,44 \text{ mm} = 244,85 \text{ kg/mm}$

Tabel 19. Hasil Perhitungan MQ

	No.	Kode	Nilai Stabilitas	Nilai Flow	MQ	Rerata
Satuan			kg	mm	kg/mm	kg/mm
Notasi			(q)			
	1	A-100	661,09	2,7	244,85	189,76
	2	B-100	689,56	4,1	168,18	
	3	C-100	616,02	2,98	206,72	
	4	D-100	600,99	2,56	234,76	
	5	E-100	570,94	4,2	135,94	
	6	A-150	545,90	4,66	117,15	149,34
	7	B-150	705,77	4,73	149,21	
	8	C-150	450,74	5,95	75,76	
	9	D-150	646,06	4,33	149,21	
	10	E-150	691,14	4,12	167,75	
	11	A-200	736,21	4,18	176,13	156,87
	12	B-200	600,99	3,1	193,87	
	13	C-200	706,16	1,8	392,31	
	14	D-200	661,09	2,7	244,85	
	15	E-200	856,41	4,9	174,78	

Nilai MQ tertinggi didapatkan dari variasi suhu 100°C dengan rerata nilai MQ sebesar 189,76 kg/mm. Hal ini menunjukkan bahwa suhu pencampuran 100°C memberikan kekuatan tertinggi dalam penerimaan beban. Dibandingkan kedua variasi lainnya, dibutuhkan beban yang relatif besar untuk menyebabkan deformasi pada perkerasan per mm-nya.



Gambar 16. Grafik Hubungan MQ Vs Suhu Pemanasan

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data, maka dapat disimpulkan bahwa suhu pemanasan berpengaruh pada kinerja CPHMA, sebagai berikut:

1. Berdasarkan nilai stabilitas marshall, dapat dilihat semakin tinggi suhu pemanasan yang diberikan pada campuran maka semakin tinggi pula nilai stabilitas yang dihasilkan.
2. Berdasarkan nilai *flow*, terlihat bahwa semakin tinggi suhu pemanasan yang diberikan pada campuran maka semakin tinggi pula *flow* yang dihasilkan.
3. Nilai VMA pada campuran akan semakin tinggi beriringan dengan semakin tingginya suhu pemanasan yang di berikan pada campuran.
4. Berdasarkan nilai VFB, terlihat bahwa semakin kecil suhu pemanasan yang diberikan pada campuran maka semakin tinggi pula nilai VFB yang dihasilkan.
5. Nilai VIM akan tinggi beriringan dengan semakin besarnya suhu pemanasan yang diberikan pada campuran.
6. Berdasarkan nilai MQ, terlihat bahwa nilai stabilitas dan nilai *flow* tidak selalu berbanding lurus dengan nilai MQ. Jika nilai stabilitas tinggi sedangkan nilai *flow* rendah maka akan didapatkan nilai MQ yang tinggi.

Dalam penelitian ini, variasi yang optimum ditinjau dari nilai MQ karena nilai MQ menunjukkan beban maksimal yang diterima oleh perkerasan hingga mampu menyebabkan deformasi tiap mm-nya. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa semakin besar nilai MQ maka semakin besar pula ketahanan perkerasan terhadap beban yang diterima. Karenanya, dapat disimpulkan dalam penelitian ini bahwa kinerja CPHMA yang teroptimum didapatkan dari variasi suhu 100°C. Dan untuk penelitian yang dipengaruhi suhu ini dapat menggunakan suhu 100°C karena pada suhu ini sudah memenuhi ketentuan CPHMA untuk seluruhnya.

5.2 Saran

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini diantara lain adalah:

1. Bagi pembaca, hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan pengetahuan terkait dengan bahan pelarut untuk Asbuton. Khususnya yang berminat untuk mengetahui lebih jauh tentang bahan pelarut untuk Asbuton maka perlu modifikasi penelitian. Sehingga akan lebih objektif dan bervariasi dalam melakukan penelitian.
2. Bagi pemerintah, sebagai acuan untuk mengembangkan Asbuton (Aspal Buton) supaya dapat digunakan semaksimal mungkin.

DAFTAR REFERENSI

- Badan Penelitian dan Pengembangan PUPR. (n.d.). Teknologi Asbuton. <http://elearning.litbang.pu.go.id/teknologi/tekonologi-asbuton-cphm>
- Dairi. (1991). Penelitian Pengembangan Teknologi Pemanfaatan Asbuton Sebagai Perkerasan Jalan.
- Dalimin. (1980). Pelaksanaan Pekerjaan Jalan Konstruksi Asbuton. Lestari.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. (2006a). Pemanfaatan Asbuton. Buku 1. Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. (2006b). Pemanfaatan Asbuton Buku 4 Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir.
- Djakfar, L. (2017). The Effect Of Limestone And Reheating Temperature On Cold Paving Hot Mix Asphalt.
- Djakfar, L., Firstyan, F., Bagus, G., & Bowoputro, H. (2015). Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Kinerja Marshall Pada Campuran Cphma Menggunakan Lga Dan Aspal Minyak Penetrasi 60/70.
- Djakfar, L., Wisnumurti, D J Djoko H S, & Khamelda, L. (2019). Kajian Kinerja Campuran CPHMA menggunakan Modifier Surfaktan dan Asam Format.
- Djakfar, L., Wisnumurti, & Khamelda, L. (2020a). Alternatif Peremaja Asbuton.
- Djakfar, L., Wisnumurti, & Khamelda, L. (2020b). Methods of Making Laboratory Scale CPHMA Specimens. International Journal of Engineering Trends and Technology, Special Issue.
- Havizh Lukman Baisa. (2021). Interview.
- Irawan, R. R., & Jaja. (2018). 41 Masterpiece PUSJATAN 2018. https://simantu.pu.go.id/personal/imgpost/adminkms/post/20200722133410__F__358_2018_41_masterpiece_Pusjatan_2018.pdf
- Kasan, M. (2009). Studi Karakteristik Volumetrik Campuran Beton Aspal Daur Ulang. SMARTEK, 7(3), 152–165.
- Permen PUPR No. 18/PRT/M/2018, (2018) (testimony of Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat).
- Kementerian PUPR Dirjen Bina Marga. (2016). Spesifikasi Interim CPHMA.

- Kusdiyanto, W. T., & Laksono, A. B. (2000). Penelitian Pengaruh Lama Pemeraman Asbuton Menggunakan Flux Butas Buatan Sebagai Bahan Peremaja Terhadap Hra Dengan Campuran Secara Dingin. Islam Indonesia Yogyakarta.
- Laboratorium Rekayasa Jalan ITB. (2001). Buku Besar Laboratorium Rekayasa Jalan. ITB.
- Ludfi Djakfar, Wisnumurti, & Lila Khamelda. (2020a). Alternatif Peremaja Asbuton.
- Ludfi Djakfar, Wisnumurti, & Lila Khamelda. (2020b). Laporan Kemajuan Penelitian Multi Tahun.
- Mamangkey, R., Kaseke, O. H., Jansen, F., & Manoppo, M. R. . (2013). Kajian Laboratorium Sifat Fisik Agregat Yang Mempengaruhi Nilai Vma Pada Campuran Beraspal panas HRS-WC. Jurnal Sipil Statik, 1(3), 196–201.
- OBSESI “Obrolab Seputar Sipil”- Asbuton. (2011). <http://joelbarcacreative.blogspot.com/2011/12/asbuton.html>
- Puslitbang. (2018). Renstra Loka Asbuton.
- Soeprapto Totomihardjo. (1995). Kandungan Mineral Asbuton.
- Widara, K. A. (2020). Kementerian PUPR Manfaatkan Teknologi Asbuton Guna Tingkatkan Kualitas Jalan Nasional.
- Widyananda, R. F. (2020). 7 Manfaat Minyak Kemiri untuk Rambut.
- Yuniarti, R. (2014). Pengaruh Minyak Biji Nyamplung Pada Bio-Flux Oil Sebagai Modifier Asbuton Butiran Terhadap Kinerja Asbuton Campuran Panas. <https://www.neliti.com/publications/145779/pengaruh-minyak-bijinyamplung-pada-bio-flux-oil-sebagai-modifier-asbuton-butira>