

Pengaruh Durasi Pemanasan Campuran terhadap Kinerja *Cold Paving Hot Mix Asbuton* (CPHMA) dengan Pelarut Berbasis Minyak Kemiri

Epianus Durman

Prodi Teknik Sipil - Universitas Katolik Widya Karya Malang

Agnes Hanna Patty

Prodi Teknik Sipil - Universitas Katolik Widya Karya Malang

Lila Khamelda

Prodi Teknik Sipil - Universitas Katolik Widya Karya Malang

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

Korespondensi penulis: lila@widyakarya.ac.id

Abstract. *The government pays attention to the potential of asbuton as an alternative to oil asphalt, this is reinforced by the issuance of several central government regulations requiring the use of asbuton as part of the national road material. It is undeniable that the shortage of asbuton in terms of the need for solvents and the instability of the asphalt content has backfired for road construction practitioners, causing the use of asbuton to date is still not optimal. Research as part of technological advances can participate in efforts to maximize the use of buton, one of which is by seeking solutions to the obstacles encountered in asbuton technology. This study aims to find an alternative asbuton solvent material based on hazelnut oil to be applied to Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) pavement. It is hoped that the discovery of alternative solvents will improve the quality of buton as a road pavement material and increase practitioner and consumer confidence in the use of buton. The results obtained through this study are that the three duration variations, namely 10, 30 and 60 minutes, provide Marshall parameter values that meet the CPHMA requirements*

Keywords: *asbuton, solvent, hazelnut oil, CPHMA*

Abstrak. Potensi asbuton sebagai alternatif pengganti aspal minyak semakin diperhatikan oleh pemerintah, hal ini diperkuat dengan dikeluarkannya beberapa peraturan pemerintah pusat yang mensyaratkan penggunaan asbuton sebagai bagian dari material jalan nasional. Tidak dipungkiri, kekurangan asbuton terhadap kebutuhan akan pelarut serta ketidakstabilan kandungan aspalnya menjadi bumerang bagi para praktisi konstruksi jalan yang menyebabkan hingga saat ini penggunaan asbuton masih belum maksimal. Penelitian sebagai bagian dari kemajuan teknologi, dapat berperan serta dalam upaya pemaksimalan penggunaan asbuton, salah satunya adalah dengan mengupayakan solusi terhadap kendala yang dihadapi dalam teknologi asbuton. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan alternatif material pelarut asbuton yang berbasis minyak kemiri untuk diaplikasikan pada perkerasan Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA). Diharapkan dengan adanya penemuan alternatif pelarut tersebut maka akan meningkatkan mutu asbuton sebagai material perkerasan jalan dan meningkatkan kepercayaan praktisi dan konsumen terhadap penggunaan asbuton. Hasil yang diperoleh melalui penelitian ini yaitu ketiga variasi durasi yaitu 10, 30 dan 60 mnt memberikan nilai parameter marshall yang memenuhi ketentuan CPHMA

Kata kunci: *asbuton, pelarut, minyak kemiri, CPHMA*

LATAR BELAKANG

Aspal merupakan bahan pengikat pada konstruksi perkerasan jalan yang berasal dari sisa penyulingan minyak bumi. Karena minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, cadangannya semakin menipis sehingga mempengaruhi ketersediaan aspal. Di sisi lain, kebutuhan aspal untuk pembangunan dan pemeliharaan jalan terus mengalami

peningkatan seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan perkembangan perekonomian. Jika ketersediaan aspal tidak mencukupi jumlah permintaan, maka pada tahun-tahun yang akan datang akan terjadi kelangkaan aspal.

Asbuton merupakan alternatif pengganti aspal minyak. Hingga saat ini, asbuton lebih banyak digunakan sebagai material untuk meningkatkan kualitas campuran aspal, salah satu adalah untuk meningkatkan mutu aspal sebagai bahan pelekats atau pelindung pada campuran beraspal. Asbuton merupakan sumber daya lokal yang depositnya sangat berlimpah, tersebar di pulau Buton.



Gambar 1. Peta Lokasi Sebaran Asbuton
Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, (2006)

Deposit asbuton yang hingga tahun 2011 terdata sejumlah 662 juta ton (Puslitbang, 2018), jika kebutuhan aspal terhadap pengembangan jalan nasional sebesar 1,2 juta ton/tahun dengan ketersediaan, sedangkan rata – rata kadar aspal dalam asbuton sebesar 25% (Departemen Pekerjaan Umum, 2006) 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).

Salah satu teknologi asbuton adalah Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA). Keunggulan CPHMA sebagai teknologi asbuton dapat diaplikasikan langsung di lapangan (cold paving) tanpa menggunakan Asphalt Mixing Plant (AMP). CPHMA juga dapat diaplikasikan di lapangan dengan di hamparkan panas maupun hangat jika dipasarkan dalam bentuk kemasan, CPHMA juga dapat digunakan juga dalam pekerjaan preventif dan pemeliharaan jalan (sebagai komponen tambalan).

Pada aplikasi asbuton di lapangan, dibutuhkan material tambahan berupa pelarut untuk mengeluarkan aspal dari asbuton. Kebutuhan pelarut disebabkan oleh kurangnya mineral yang tidak homogen, dan mudah pecah akibat rendahnya penetrasi dan daktilitas dari Asbuton, meskipun telah melewati proses fabrikasi (Sandi, 2013).

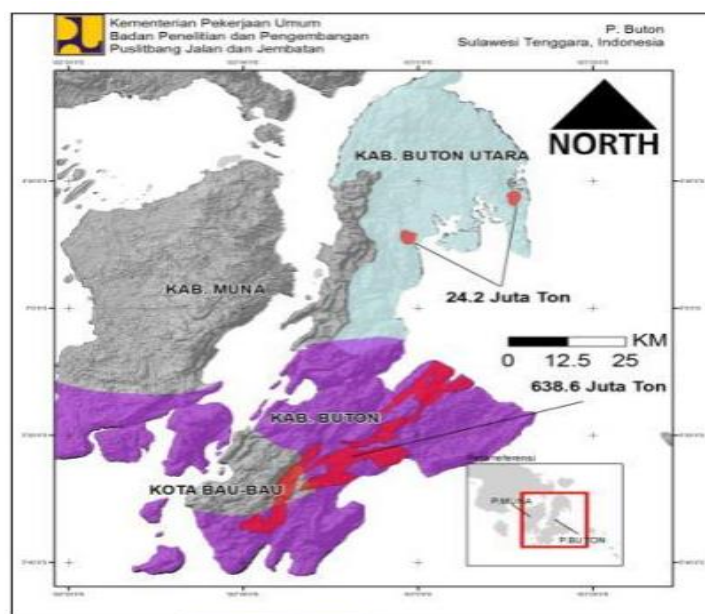
Material alternatif pelarut asbuton dalam penelitian ini adalah minyak kemiri yang didasari oleh hasil penelitian Djakfar et al. (2020) terhadap kinerja 13 minyak nabati sebagai alternatif pelarut asbuton pada CPHMA dengan uji marshall dan Liquid Liquid Extraction (LLE). Dalam penelitian ini akan diuji pengaruh durasi pemanasan campuran dengan menggunakan pelarut minyak kemiri terhadap kinerja CPHMA.

Kinerja yang dimaksudkan adalah mekanisme (cara) kerja 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).

KAJIAN TEORITIS

A. Asbuton

Asbuton adalah aspal alam yang terdapat di pulau Buton, Sulawesi Tenggara yang selanjutnya dikenal dengan istilah Asbuton. Asbuton atau Aspal batu Buton ini pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang porous (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006).



Gambar 2. Lokasi Deposito Asbuton Indonesia

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

Deposit Asbuton yang tersedia di Pulau Buton merupakan deposit aspal alam yang terbesar di dunia. Dimana persebaran deposit asbuton tersebut dari teluk Sampolawa sampai denga teluk Lawele sepanjang 75 km dengan lebar 12 km dan juga termasuk wilayah kabupaten muna.

Tabel 1. Perkiraan Deposit Asbuton Di Daerah Lawele Dan Sekitarnya

No.	Sumber	Tahun	Volume (ton)	Daerah
1	Bothe	1928	930.000	Lawele
2	Hetzel	1936	100.000.000	Lawele
3	Kurniaji	2003	396.735.000	Lawele (Batu Awu, Mampenga, Lagunturu, Kabukubuku, Siantopina, Ulala). Detail dapat dilihat pada Error! Reference source not found..
4	PT. Sarana Karya	1986	160.700.003	Waisin, Lawele, Kabungka, Winto, Wariti
5	Puslitbang Jalan dan Jembatan	2011	662.960.267	Pulau Buton (meliputi Kabupaten Buton, Kabupaten Buton Utara, dan Kabupaten Muna)

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, (2006)

Produk teknologi asbuton diklasifikasikan berdasarkan bentuk material asbuton, salah satu yaitu asbuton butir. Asbuton butir yang mirip dengan asbuton mikro karena ukuran butirnya maksimum lebih kecil dari 1,16 mm. Asbuton jenis ini bersifat homogen dikarenakan halus dan tidak menggumpal dan memiliki kandungan air yang sangat rendah. Asbuton berbutir merupakan hasil dari pengolahan asbuton padat berbentuk padat yang di pecahkan dengan alat pemecah batu (*crusher*) (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006).

B. Teknologi CPHMA

CPHMA merupakan salah satu teknologi asbuton campuran panas yang pencampurannya dalam kondisi panas kemudian dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi dingin (temperatur udara). CPHMA dapat digunakan baik sebagai lapisan perata maupun lapisan permukaan dan dapat dihamparkan lebih dari satu lapisan pada badan jalan beraspal.

Sebagai lapisan permukaan, penghamparan CPHMA harus dilaksanakan di atas permukaan jalan lama atau lapisan pondasi yang telah disiapkan dan memenuhi garis ketinggian dan potongan memanjang sesuai gambar rencana (Kementerian PUPR Dirjen Bina Marga, 2016)

Tabel 2. 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)

**Gambar 3. Penghampanan CPHMA di Kabupaten Ciamis**

Sumber: Hermansyah (2018)

**Gambar 4. Penghampanan CPHMA di Bypass Krian, Sidoarjo**

Sumber: BPPJN VIII (2017)

C. Minyak Kemiri

Minyak kemiri merupakan material pelarut yang digunakan sebagai pelarut asbuton. Bahan pelarut ini dibedakan dari titik didih dan indeks kelarutannya, makin tinggi indeks kelarutannya, diprediksi akan makin tinggi daya larutnya, makin rendah titik didihnya, diprediksi makin rendah temperatur yang dibutuhkan untuk proses pemulihan (*recovery*) (Kurniadji, 2014)

Tabel 3. Kriteria Pelarut Asbuton

No	Jenis Pengujian (a)	Persyaratan PH-1000 (a)
1	Viskositas:	
	Pada 60°C (cSt)	800 – 1200
	Atau 100°C (dtk)	80 – 120
2	Kelarutan dalam TCE (%)	Min 99,5
3	Titik Nyala (°C)	Min 180
4	Berat Jenis	Min 0,95
5	Penurunan Berat (TFOT) (% terhadap Berat Awal)	Maks 1
6	Kadar Parafin Lilin (%)	Maks 2

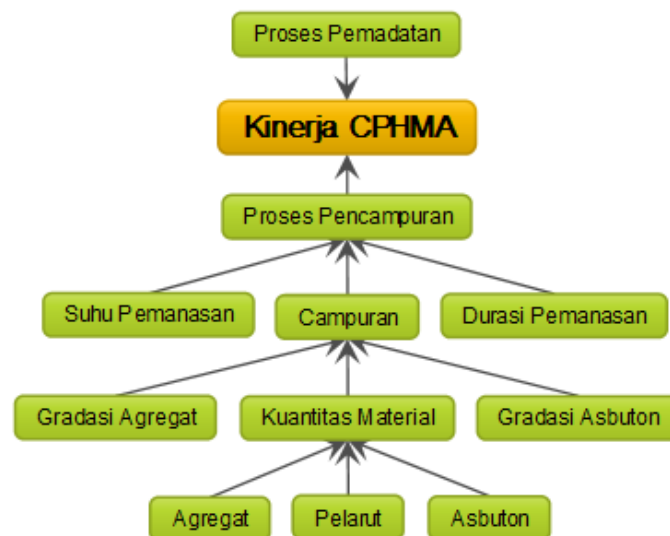
Sumber: DPU Dirjen Bina Marga (2006)

Aspal yang merupakan ikatan senyawa hidrokarbon non polar, membutuhkan pelarut dengan sifat yang sama yaitu non polar yang dikenal dengan istilah “*like dissolves like*” (Sastrohamidjojo, 2018). Adapun minyak nabati merupakan senyawa non polar (Sastrohamidjojo, 2018) maka semestinya mampu menjadi pelarut untuk asbuton.

Pelarut berupa minyak kemiri didasari oleh hasil penelitian Djakfar et al. (2020) yang menggunakan pengujian LLE dan Marshall dalam menentukan potensi 13 minyak nabati. Minyak nabati yang telah diuji dalam penelitian tersebut yaitu minyak jarak (J), zaitun (Z), kedelai (KDL), jagung (JG), biji bunga matahari (BM), wijen (W), biji anggur (BA), kelapa (KLP), bekatul (P), sawit (S), kanola (KNL), kacang tanah (KT) dan kemiri (K).

METODE PENELITIAN

A. Obyek Penelitian



Gambar 5. Kerangka Pemikiran

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. Faktor – faktor yang diperkirakan akan mempengaruhi kinerja CPHMA sebagaimana yang ditampilkan pada gambar di bawah.

Berdasarkan pemikiran adanya faktor yang mempengaruhi kinerja CPHMA tersebut, maka pada campuran CPHMA diberikan perlakuan berupa variasi durasi pemanasan untuk membuktikan jika durasi pemanasan memberikan pengaruh terhadap kinerja CPHMA.

Obyek penelitian yang digunakan terdiri 15 sampel berbentuk briket dan merupakan simulasi dari lapisan perkerasan CPHMA yang terdiri atas agregat (761,1 gr), pelarut (47,8 gr) dan asbuton (238,9 gr). Sample mendapat perlakuan dengan variasi durasi pemanasan yang merupakan variabel X yaitu 10, 30 dan 60 menit, 5 sample untuk setiap varian. Suhu pemanasan (170°C) dan kuantitas pelarut (23,9 gr) yang merupakan variabel Y berdasarkan penelitian Djakfar et al. (2020a).

Tabel 4. Komposisi Agregat

No.	Lolos Saringan	Tertahan Saringan	Berat (gr)
1	¾"	½"	47,0
2	½"	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)

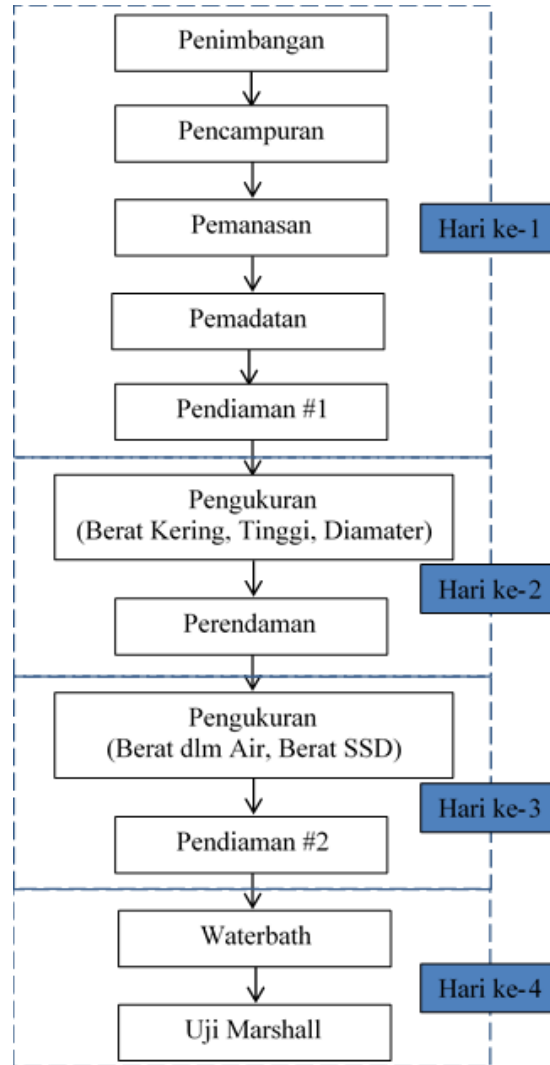
Tabel 5. Rancangan Penelitian

No.	Variabel X			Variabel Y
	10 mnt	30 mnt	60 mnt	
1	A	A	A	– Suhu Pemanasan = 170°C – Kuantitas Pelarut = 23,9 gr
2	B	B	B	
3	C	C	C	
4	D	D	D	
5	E	E	E	

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian adalah Laboratorium Teknik Sipil Universitas Katolik Widya Karya, terletak di Jln. Bondowoso No.2, Malang, Jawa Timur. Waktu pengujian dilakukan selama 6 hari, yang dimulai tanggal 18 – 23 Oktober 2021.

C. Metode Pengumpulan Data



Gambar 6. Tahapan Uji Marshall Modifikasi
Sumber : Djakfar et al. (2020b)

Pengumpulan data berdasarkan pengujian laboratorium dengan metode uji marshall yang dimodifikasi sebagaimana hasil penelitian dari Djakfar et al. (2020b). Pada metode modifikasi ini, diberikan penambahan perlakuan pendiaman 24 hari ke-2 setelah perendaman, hasil pengujian menunjukkan perbedaan peningkatan stabilitas marshall jika dibandingkan dengan metode konvensional.

Tahapan Uji Marshall pada penelitian ini sebagaimana yang tercantum pada gambar diatas adalah sebagai berikut:

1. Penimbangan

Penimbangan adalah langkah awal sebelum melakukan pencampuran material. Agregat ditimbang berdasarkan gradasi yang telah ditentukan melalui Job Mix Formula (JMF) yang menggunakan JMF dari penelitian Djakfar et al. (2020b). Adapun pelarut yaitu

minyak kemiri ditimbang seberat $20\% \times \text{Berat Asbuton} = 20\% \times 238,9 \text{ gr} = 47,8 \text{ gr}$. Sedangkan asbuton ditimbang seberat 238,9 gr, baik pelarut dan asbuton juga berdasarkan penelitian Djakfar et al. (2020b).

2. Pencampuran

Pencampuran dilakukan terhadap ketiga material campuran CPHMA, yaitu agregat, asbuton dan pelarut. Pencampuran dilakukan secara manual agar pelarut dapat tercampur secara homogen (relatif) dengan asbuton. Pencampuran dilakukan pada suhu ruang menggunakan wadah aluminium agar campuran tersebut nantinya dapat dipanaskan dengan menggunakan wadah yang sama.



Gambar 7. Pencampuran Agregat, Asbuton dan Pelarut

3. Pemanasan

Seluruh campuran dimasukkan ke dalam oven dan dipanaskan dengan suhu 170°C selama 10, 30 dan 60 mnt.

Variasi durasi pada proses pemanasan bertujuan untuk mengetahui durasi terbaik yang mampu melunakkan mineral dan aspal di asbuton sehingga aspal yang terkandung/terperangkap di mineral tersebut dapat dilarutkan dengan maksimal.

4. Pemadatan

Pemadatan dilakukan dengan terlebih dahulu memasukkan campuran dalam mold. Kemudian, campuran ditusuk – tusuk 15 kali di bagian tengah dan 10 kali di bagian luar, hal ini bertujuan untuk meratakan pengisian rongga dan meratakan posisi agregat. Pemadatan dilakukan dengan 75 kali tumbukan pada kedua sisinya. Pemadatan dengan compactor di laboratorium, merupakan simulasi dari proses pemadatan di lapangan. Hasil pemadatan adalah sample dengan bentuk seperti briket.



Gambar 8. Pemadatan campuran

5. Pendiaman #1

Pendiaman merupakan proses dimana campuran yang telah padat dan berbentuk briket didiamkan selama 24 jam. Hal ini merupakan simulasi dari tahapan di lapangan dimana setelah dilakukan pemadatan dengan alat Tandem Roller, maka jalan (perkerasan) diupayakan untuk tidak digunakan setidaknya 24 jam.



Gambar 9. Pendiaman Spesimen

6. Pengukuran

Pada kegiatan ini dilakukan pengukuran untuk mendapatkan tinggi dan diameter briket dengan menggunakan jangka sorong. Juga dilakukan penimbangan briket dengan menggunakan timbangan digital.

7. Perendaman

Perendaman adalah kegiatan memasukkan benda uji ke dalam wadah yang berisi air selama 24 jam pada suhu ruang. Kegiatan ini merupakan simulasi di lapangan jika perkerasan mengalami perendaman yang disebabkan oleh banjir.

8. Pengukuran

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui berat briket dalam air dan berat *Saturated Surface Dry (SSD)* briket dengan menggunakan timbangan dunagan dan timbangan digital. Briket terlebih dahulu ditimbang dalam air, kemudian dikeluarkan dan bagian permukaannya dikeringkan untuk kemudian ditimbang dengan timbangan digital.



Gambar 10. Pengukuran

9. Pendiaman #2

Kegiatan ini sama dengan kegiatan pendiaman #1, dimana kegiatan ini merupakan modifikasi dari tahapan pengujian marshall berdasarkan penelitian Djakfar et al. (2020b).

10. *Waterbath*

Waterbath adalah wadah yang digunakan untuk memanaskan briket dengan direndamkan air pada suhu 60°C dengan durasi 30 menit. Kegiatan ini merupakan simulasi di lapangan jika perkerasan mendapat paparan sinar matahari terik.



Gambar 11. Pemanasan Briket dengan *Waterbath*

11. Uji *Marshall*

Pengujian marshall adalah pengujian terhadap stabilitas dan kelelahan (flow). Briket diletakkan pada stability mold kemudian diletakkan di atas plane untuk kemudian didorong naik hingga tertekan oleh piston. Pada saat itu, maka akan mulai terbaca nilai stabilitas dan flow. Pembacaan stabilitas dihentikan jika jarum flow telah berbalik arah, yang menandakan bahwa briket telah mengalami deformasi maksimal atau keruntuhan.

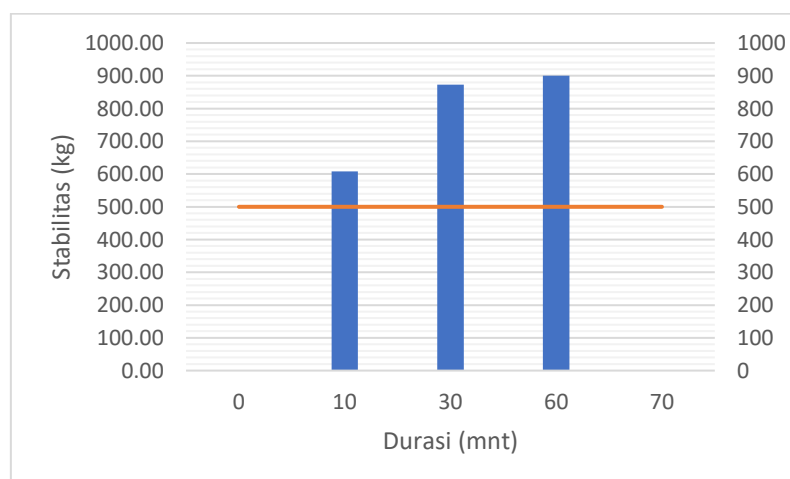


Gambar 12. Pengujian Marshall

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Stabilitas Marshall

Kode Sample = A-10 mnt
 Pembacaan Arloji Stabilitas (o) = 40 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) = $o \cdot w$
 = $40 \text{ div} \cdot 29,03 \text{ lbf/div} = 1161,20 \text{ lbf}$
 Nilai Stabilitas (q) = $p \cdot y \cdot x$
 = $1161,20 \text{ lbf} \cdot 0,45 \text{ kg/lbf} \cdot 1,14 = 600,99 \text{ kg}$

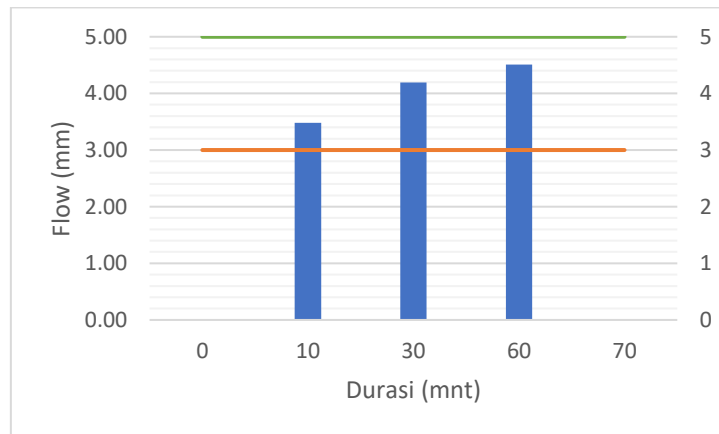


Grafik 1. Hubungan Stabilitas Vs Durasi Pemanasan

Berdasarkan nilai stabilitas marshall, dapat terlihat bahwa rerata nilai stabilitas untuk ketiga variasi durasi memenuhi standar CPHMA yaitu diatas nilai stabilitas minimum (500 kg). Nilai stabilitas tertinggi didapatkan dari variasi durasi 60 mnt dengan rerata nilai stabilitas sebesar 900,27 kg. Semakin tinggi nilai stabilitas maka akan menghasilkan perkerasan yang lebih baik, karena menunjukkan beban maksimal yang dapat didukung oleh perkerasan.

B. Flow

Kode Sample = A-10 mnt
 Pembacaan Arloji Flow (r) = 347 div (diukur)
 Nilai Flow = $r \cdot 0,01 \text{ mm/div}$
 = $347 \text{ div} \cdot 0,01 \text{ mm/div} = 3,47 \text{ mm}$



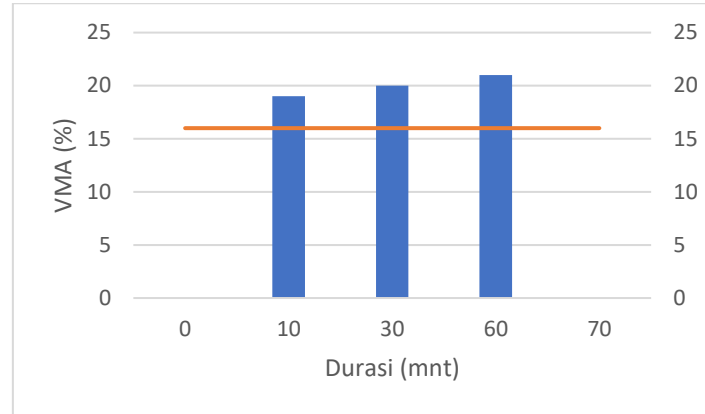
Grafik 2. Hubungan Flow Vs Durasi Pemanasan

Berdasarkan nilai flow, dapat terlihat bahwa rerata nilai flow untuk ketiga variasi durasi memenuhi standar CPHMA yaitu diatas nilai minimum (3 mm) dan di bawah nilai maksimum (5 mm). Nilai flow tertinggi didapatkan dari variasi durasi 60 mnt dengan rerata nilai flow sebesar 4,51 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.

C. Void in Mineral Agregat (VMA)

Kode Sample = A-10 mnt
 % Aspal terhadap Campuran (b) = 6% (Job Mix Formula)
 % Agregat terhadap Campuran (t) = $100\% - b$
 = $100\% - 6\% = 0,94$
 Berat Kering Briket (c) = 1020,1 gr (ditimbang)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat SSD Briket (d)} &= 1034,6 \text{ gr (ditimbang)} \\
 \text{Berat dalam Air Briket (e)} &= 555 \text{ gr (ditimbang)} \\
 \text{Berat Isi Briket (f)} &= d - e \\
 &= 1034,6 \text{ gr} - 555 \text{ gr} = 479,6 \text{ gr} \\
 \text{Berat Isi Benda Uji Briket (g)} &= c / f \\
 &= 1020,1 \text{ gr} / 479,6 \text{ gr} = 2,13 \text{ gr} \\
 \text{Berat Campuran} &= 1000 \text{ gr (ditimbang)} \\
 \text{Berat Aspal} &= b \cdot c \\
 &= 6\% \cdot 1020,1 \text{ gr} = 61,21 \text{ gr} \\
 \text{Berat Pelarut} &= 47,8 \text{ gr (ditimbang)} \\
 \text{Berat Agregat} &= \text{Berat Campuran} - \text{Berat Aspal} - \text{Berat Pelarut} \\
 &= 1000 \text{ gr} - 61,21 \text{ gr} - 47,8 \text{ gr} = 890,99 \text{ gr} \\
 \text{BJ Air} &= 1 \text{ gr/cm}^3 \text{ (ketetapan)} \\
 \text{Volume Campuran} &= (c - e) / \text{BJ Air} \\
 &= (1020,1 \text{ gr} - 555 \text{ gr}) / 1 \text{ gr/cm}^3 = 465,1 \text{ cm}^3 \\
 \text{BJ Aspal (v)} &= 1,04 \text{ gr/cm}^3 \text{ (ketetapan)} \\
 \text{Volume Aspal} &= (b \cdot c) / v \\
 &= (6\% \cdot 1020,1 \text{ gr}) / 1,04 \text{ gr/cm}^3 = 59,02 \text{ cm}^3 \\
 \text{BJ Pelarut} &= 0,92 \text{ gr/cm}^3 \text{ (ketetapan)} \\
 \text{Berat Pelarut} &= 47,8 \text{ gr (ditimbang)} \\
 \text{Volume Pelarut} &= \text{Berat Pelarut} / \text{BJ Pelarut} \\
 &= 47,8 \text{ gr} / 0,92 \text{ gr/cm}^3 = 51,96 \text{ cm}^3 \\
 \text{Volume Agregat} &= \text{Volume Campuran} - \text{Volume Aspal} - \text{Volume Pelarut} \\
 &= 465,1 \text{ cm}^3 - 59,02 \text{ cm}^3 - 51,96 \text{ cm}^3 \\
 &= 354,12 \text{ cm}^3 \\
 \text{BJ Agregat (u)} &= \text{Berat Agregat} / \text{Volume Agregat} \\
 &= 890,99 \text{ gr} / 354,12 \text{ cm}^3 = 2,52 \text{ gr/cm}^3 \\
 j &= (t \cdot g) / u \\
 &= (0,94 \cdot 2,13 \text{ gr}) / 2,52 \text{ gr/cm}^3 = 0,79 \\
 \text{VMA} &= 100\% - j \\
 &= 100\% - 0,79 = 0,21 = 21\%
 \end{aligned}$$



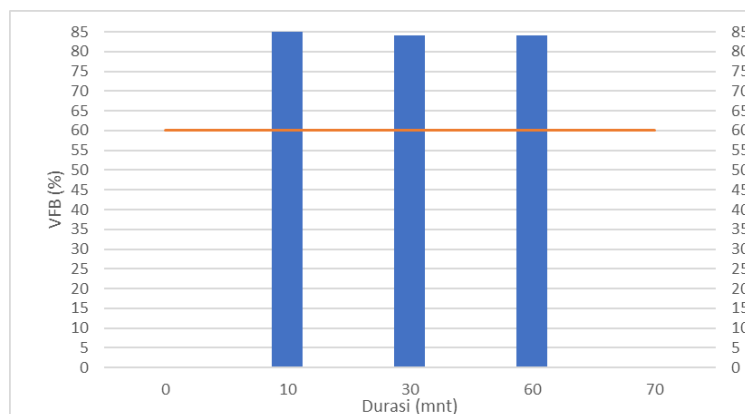
Grafik 3. Hubungan VMA Vs Durasi Pemanasan

Berdasarkan nilai VMA, dapat terlihat bahwa rerata nilai VMA untuk ketiga variasi durasi memenuhi standar CPHMA yaitu diatas nilai VMA minimum (16%). Nilai VMA tertinggi didapatkan dari variasi durasi 60 mnt dengan rerata nilai VMA sebesar 21%. Semakin tinggi nilai VMA maka akan menghasilkan perkerasan yang lebih baik, karena rongga yang tersedia untuk diisi oleh aspal akan semakin besar

D. Void Filled with Bitumen (VFB)

Kode Sample = A-10 mnt

$$\begin{aligned}
 b &= 6\% \text{ (dari perhitungan VMA)} \\
 g &= 2,13 \text{ gr (dari perhitungan VMA)} \\
 v &= 1,04 \text{ gr/cm}^3 \text{ (dari perhitungan VMA)} \\
 i &= (b \cdot g) / v \\
 &= (6\% \cdot 2,13) / 1,04 = 0,12 \\
 j &= 0,79 \text{ (dari perhitungan VMA)} \\
 \text{VFB} &= 100\% - (i / j) \\
 &= 100\% - (0,12 / 0,79) = 0,85 = 85\%
 \end{aligned}$$



Grafik 4. Hubungan VFB Vs Durasi Pemanasan

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 durasi 10 mnt 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

E. Void in Mix (VIM)

Kode Sample = A-10 mnt

g = 2,13 gr (dari perhitungan VMA)

t = 0,94 (dari perhitungan VMA)

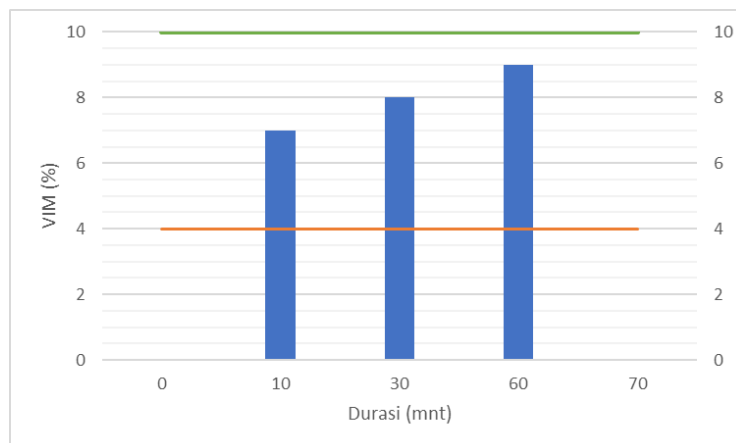
u = 2,52 gr/cm³ (dari perhitungan VMA)

b = 6% (dari perhitungan VMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{VIM} &= 100\% - (100\% (g / h)) \\ &= 100\% - (100\% (2,13 / 2,32)) = 0,08 = 8\% \end{aligned}$$



Grafik 5. Hubungan VIM Vs Durasi Pemanasan

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 durasi 60 mnt 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).

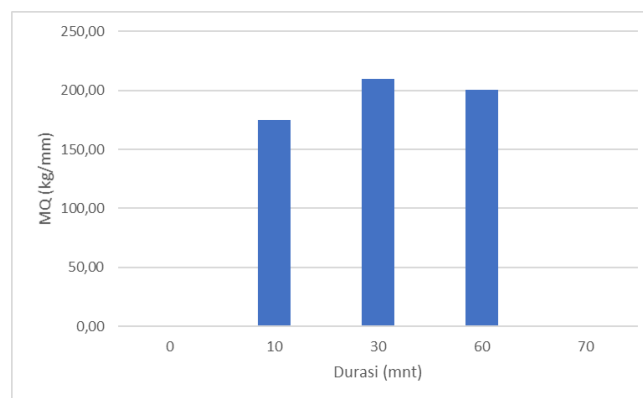
F. Marshall Quotient (MQ)

Kode Sample = A-10 mnt

Nilai Stabilitas (q) = 600,99 kg (dari perhitungan stabilitas marshall)

Nilai Flow = 3,47 mm (dari perhitungan flow)

MQ = q / nilai flow
 = 600,99 kg / 3,47 mm = 173,2 kg/mm



Grafik 6. Hubungan MQ Vs Durasi Pemanasan

Nilai MQ tertinggi didapatkan dari variasi durasi 30 mnt dengan rerata nilai MQ sebesar 209,79 kg/mm. Hal ini menunjukkan bahwa durasi pemanasan 30 mnt memberikan kekuatan tertinggi dalam penerimaan beban. Dibandingkan kedua variasi lainnya, dibutuhkan beban yang relatif besar untuk menyebabkan deformasi pada perkerasan per mm-nya.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan nilai stabilitas marshall, terlihat bahwa semakin lama durasi pemanasan yang diberikan pada campuran maka semakin tinggi pula nilai stabilitas yang dihasilkan.
2. Berdasarkan nilai flow, terlihat bahwa semakin lama durasi pemanasan yang diberikan pada campuran maka semakin tinggi pula flow yang dihasilkan.
3. Berdasarkan nilai VMA, terlihat bahwa semakin lama durasi pemanasan yang diberikan pada campuran maka semakin tinggi pula nilai VMA yang dihasilkan.

4. Berdasarkan nilai VFB, terlihat bahwa semakin pendek durasi pemanasan yang diberikan pada campuran maka semakin tinggi pula nilai VFB yang dihasilkan.
5. Berdasarkan nilai VIM, terlihat bahwa semakin lama durasi pemanasan yang diberikan pada campuran maka semakin tinggi pula nilai VIM yang dihasilkan.
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 durasi 30 mnt.

B. Saran

1. Penelitian dapat dilanjutkan dengan variasi perlakuan pada proses pemadatan.
2. Dibutuhkan referensi yang cukup memadai untuk memahami karakteristik asbuton untuk dapat menganalisa perilaku dari CPHMA.
3. Asbuton masih memiliki banyak kekurangan informasi sehingga dibutuhkan banyak penelitian untuk meningkatkan pemahaman terhadap karakteristik asbuton.

DAFTAR REFERENSI

- Anonim. (2020). Cara Membuat Minyak Kemiri.
- BPPJN VIII. (2017). Uji Gelar Aspal CPHMA di Ruas Bypass Krian.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2006). Pemanfaatan Asbuton Buku 1 Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. (2006). Pemanfaatan Asbuton. Buku 1. Umum.
- Djakfar. (2015). Naskah publikasi.
- Djakfar, L., Bowoputro, H., Akbariawan, R., & Fadiansyah, R. (2017). The effect of limestone and reheating temperature on cold paving hot mix asphalt. *International Journal of GEOMATE*, 12(29), 212–219. <https://doi.org/10.21660/2017.29.77503>
- 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.

- Djakfar, L., Wisnumurti, Santjojo, D. J. D. H., Khamelda, L., Riztya Justitia, Azis, N. H. D. U., & Hamida, N. (2019). Kajian Kinerja Campuran CPHMA Menggunakan Modifier Surfaktan Dan Asam Format.
- DPU Dirjen Bina Marga. (2006). Pemanfaatan Asbuton Buku 4 Campuran Beraspal Hangat dengan Asbuton Butir.
- Hermansyah, D. (2018). Pemkab Ciamis Pakai Aspal Buton untuk Jalan Lingkungan.
- 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.
- Kurniadji. (2014). Ekstraksi Asbuton Dengan Pelarut Berbasis Bahan (Asbuton Extraction Using Organic Based Solvent and. 31(1), 12–23.
- Laboratorium Rekayasa Jalan ITB. (2001). Buku Besar Laboratorium Rekayasa Jalan. ITB.
- Ludfi Djakfar, Wisnumurti, & Lila Khamelda. (2020). Alternatif Peremaja Asbuton.
- 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.
- Puslitbang. (2018). Renstra Loka Asbuton.
- Sandi, R. F. (2013). Kinerja Campuran Lataston (HRS-WC) Asbuton dengan Penambahan Oli Bekas Terhadap Pengujian Marshall (Issue Mm).
- Sastrohamidjojo, H. (2018). Kimia Dasar. Gadjah Mada University Press.
- Sulistyanto. (2021). Manfaat Kemiri untuk Membantu Menyuburkan Rambut, Melawan Serangan Ketombe dan Sembelit.
- Veratamala, A. (2021). Manfaat Minyak Kemiri untuk Kulit dan Rambut.
- Wicaksono, B. D. (2020). Fakta di Balik Minyak Kemiri yang Bisa Menebalkan Rambut.
- Yuniarti, R. (2014). Pengaruh Minyak Biji Nyamplung pada Bio-Flux Oil Sebagai Modifier Asbuton Butiran Terhadap Kinerja Asbuton Campuran Panas. 21(3), 251–258.