

Potensi Minyak Kanola, Kacang Tanah, Kemiri Sebagai Pelarut Asbuton Pada CPHMA

Cornelius Chandra Septyan¹, Sunik², 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: ssunik@widyakarya.ac.id

Abstract. *The potential of asbuton as an alternative substitute for asphalt oil is increasingly being noticed by the government, this is strengthened by the issuance of several central government regulations that project the use of asbuton as part of national road materials. It cannot be denied that the deficiency of asbuton regarding the need for solvents and the instability of its asphalt content becomes an object for road construction practitioners, which causes until now the use of asbuton is still not maximal and touched in its performance. Researchers as part of technological advancement can play a role in maximizing the use of asbuton, one of which is by optimizing the problems faced in asbuton technology. This study aims to find an alternative asbuton solvent material based on vegetable oil to be applied to Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) pavement. It is expected that with the discovery of alternative solvents, it will improve the quality of asbuton as a road pavement material and increase the confidence of practitioners and consumers in the use of asbuton. The results obtained through this study are that the three variations of vegetable oil, namely kemiri oil, canola, and peanut oil, provide Marshall parameter values that meet CPHMA regulations except for Marshall stability values. But based on the Marshall stability value, it was found that kemiri oil gave the highest stability value. Therefore, kemiri oil has the highest potential as an asbuton solvent compared to the other two vegetable oils.*

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

Abstrak. Potensi asbuton sebagai alternatif pengganti aspal minyak semakin diperhatikan oleh pemerintah, hal ini diperkuat dengan dikeluarkannya beberapa peraturan pemerintah pusat yang memproyeksikan penggunaan asbuton sebagai bagian dari material jalan nasional. Tidak dipungkiri, kekurangan asbuton terhadap kebutuhan akan pelarut serta ketidakstabilan kandungan aspalnya menjadi objek bagi para praktisi konstruksi jalan yang menyebabkan hingga saat ini penggunaan asbuton masih belum maksimal dan terjamah dalam kinerjanya. Peneliti sebagai bagian dari kemajuan teknologi, dapat berperan serta dalam upaya pemaksimalan penggunaan asbuton, salah satunya adalah dengan mengoptimalkan permasalahan yang dihadapi dalam teknologi asbuton. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan alternatif material pelarut asbuton yang berbasis minyak nabati 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 minyak nabati yaitu minyak kemiri, kanola dan kacang tanah memberikan nilai parameter marshall yang memenuhi ketentuan CPHMA kecuali nilai stabilitas marshall. Tetapi berdasarkan nilai stabilitas marshall tersebut, didapatkan bahwa minyak kemiri memberikan nilai stabilitas yang tertinggi. Maka minyak kemiri memiliki potensi tertinggi sebagai pelarut asbuton dibanding kedua minyak nabati lainnya.

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

1. LATAR BELAKANG

Infrastruktur jalan merupakan salah satu aspek yang sangat membantu dalam pengembangan pembangunan nasional ataupun regional di wilayah Indonesia. Dalam hal ini sangat memiliki peran penting untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi ataupun investasi tiap masing – masing daerah yang belum memiliki akses yang memadai. Dengan adanya perbaikan infrastruktur jalan yang berkelanjutan di dalam negeri, maka akan meningkatkan

akses transportasi, energi, sanitasi, dan telekomunikasi yang di harapkan dapat memacu pertumbuhan ekonomi (Setya Budi et al., 2017).

Aspal merupakan material yang dibutuhkan untuk perkerasan jalan, kebutuhan perkembangan jalan di Indonesia memiliki akses jalan dengan berbagai kondisi tanah dan dataran berbeda tiap wilayah, merupakan bagian dari pekerjaan yang harus perbaiki oleh pemerintah untuk menunjang perekonomian di Indonesia. Aspal alam di Pulau Buton berbentuk padat yang terdapat di wilayah sulawesi Tenggara dengan karakteristik secara alami akibat dari proses geologi.

Kelangkaan aspal minyak di beberapa tempat di wilayah Indonesia merupakan dari kebutuhan yang harus di perhitungkan di karenakan sumber daya alam yang digunakan telah dilakukan perhitungan untuk mempertimbangkan beberapa langkah tahun ke depan untuk meminimalisir agar kebutuhan aspal minyak dapat menggunakan sumber alternatif untuk menjaga keseimbangan ataupun kelangkahan, salah satu nya aspal yang di kategorikan sebagai sumber daya energi utama untuk pembuatan infrastruktur jalan di Indonesia. Kelemahan aspal minyak dengan kondisi yang tidak dapat di perbaharui dan membutuhkan beberapa juta tahun untuk mengembalikan di dalam perut Bumi (Simamora, S., Salundik, Wahyuni, S., 2006). Aspal minyak di Indonesia terdapat di pulau buton berupa aspal gunung terkenal dengan sebutan nama Asbuton merupakan batu yang mengandung kadar aspal, membentang di wilayah bagian kecamatan Lawele sampai Sampolawa, dengan cadangan deposit sekitar 200 juta ton dengan kadar aspal bervariasi antara 10% sampai dengan 35% dengan pemakaian material asbuton sejak tahun 1920 sebagai material perkerasan jalan (Sukirman et al., 2003). Asbuton sebagai pengganti aspal minyak merupakan kebutuhan yang harus di optimalkan dalam jangka panjang untuk mengurangi pemakaian sumber daya alam sebagai kebutuhan yang harus di imbangi untuk menjaga kebutuhan bahan baku aspal dari eksplorasi yang dilakukan untuk menunjang kebutuhan pembangunan infrastruktur jalan semakin meningkat, *alberta Research Council* dari daerah lawele (Supriadi S., Alberta Reseacrh Council, 1989) dengan titik pengeboran yang di lakukan pada 132 dengan ketebelan titik berkisar antara 9 meter sampai 45 meter dengan ketebelan rata – rata 29,88 dengan ketebalan tanah tutup 0-17 meter atau rata penutup 3,47 meter dengan luasan daerah tebelan luas pengaruh asbuton 1.527.343,5 m.

Jika kebutuhan aspal terhadap pengembangan jalan nasional sebesar 1,2 juta ton/tahun dengan ketersediaan deposit asbuton yang hingga tahun 2011 terdata sejumlah 662 juta ton (Puslitbang, 2018), sedangkan rata – rata kadar aspal dalam asbuton sebesar 25% (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2006) maka kebutuhan jalan nasional dapat diakomodasi oleh asbuton untuk 135 tahun. Mengoptimalkan penggunaan pekerjaan

perkerasan jalan sebagai pengelolaan asbuton dengan dikembangkan menggunakan *Cold Paving Hot Mix Asphat Asbuton* (CPHMA). (2013, n.d.) (menurut Ditjen Bina Marga. 2013) CPHMA merupakan campuran asbuton yang terdiri dari beberapa komponen di dalamnya berupa agregat, asbuton butir, peremaja dan tambahan lainnya yang di campur panas hampar dingin. Adapun keunggulan dari penggunaan CPHMA yang dapat dipadatkan dingin sehingga sangat cocok digunakan untuk daerah yang berada jauh dari lokasi AMP adapun kelemahan dalam workability karena campuran sudah dingin lebih susah untuk dipadatkan dalam kondisi mengeras yang mempengaruhi kinerja campuran (Suroso, 2008).

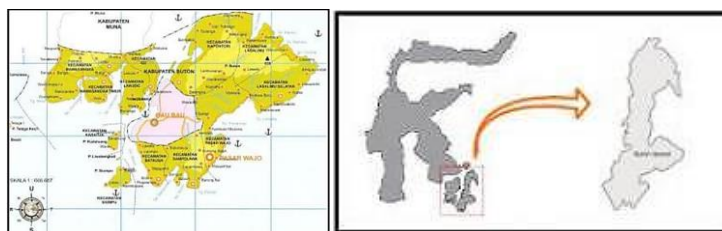
Pelarut dalam CPHMA memiliki banyak fungsi yaitu sebagai pelarut aspal asbuton, modifier terhadap zat dalam asbuton dan peremaja pada saat CPHMA dihamparkan. Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian Djakfar et al. (2020) yang menguji kualitas 13 minyak nabati sebagai pelarut tambahan dalam campuran asbuton yaitu *Sunflower Seed oil* (Bunga Matahari), *Canola oil* (Kanola), *Castor oil* (Jarak), *Corn oil* (Jagung), *Candlenut oil* (Kemiri), *Soybean oil* (Kedelai), *Olive oil* (Zaitun), *Coconut oil* (Kelapa), *Paml oil* (sawit), *Peanut oil* (Kacang Tanah), *Rice Bran oil* (Padi), *Grapeseed oil* (Biji Anggur), *Sesame Seed Oil* (Wijen).

Dari beberapa modifier yang di lakukan pengujian ada beberapa minyak nabati yang menunjukan potensi kekuatan perkerasan yang tertinggi di antaran minyak nabati lainnya ditemukan bahwa minyak Kemiri, Kanola dan Minyak Kacang Tanah memiliki potensi yang tinggi dalam uji Marshall dan *Liquid Liquid Extraction* (LLE) dari beberapa *modifier* yang di uji sehingga 3 minyak tersebut dapat di optimalkan fungsi untuk kedepannya di lakukan pengujian lebih mendalam untuk memberikan pengaruh dalam terhadap kinerja CPHMA.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Aspal Buton (Asbuton)

Aspal Buton dengan istilah lain Asbuton merupakan aspal alam terletak di pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Aspal Batu Buton secara alami terbentuk akibat proses geologi dari beberapa jutaan tahun yang menyerap di antara batuan yang berongga dapat disebut dengan istilah asbuton.



Gambar 1. Peta Lokasi Asbuton di Pulau Sulawesi

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

Berdasarkan penelitian dilakukan oleh Puslitbang Jalan Dan Jembatan pada Tahun 2011, Indonesia memiliki 662 juta ton deposit aspal alam yang dengan isitilah Aspal Buton. Deposit Aspal Buton Terletak di kabupaten Buton dengan deposit sebesar 638,2 juta ton. Relatif sedikit deposit yang terletak di Kabupaten Buton Utara sebesar 24,2 juta ton. Deposit Aspal buton termasuk sebagai terbesar di dunia dengan persediaan yang melimpah terdapat di daerah Lawele dengan mutu aspal yang tinggi. Sebagai mana tercantum dalam tabel dengan beberapa deposit asbuton di daerah Lawele dan sekitarnya memiliki karakteristik berbeda-beda setiap wilayah menjadi objek untuk di lakukan penelitian lebih lanjut.

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 (2006)

Hasil eksplorasi, menunjukan di daerah Lawele memiliki jenis Asbuton lunak dengan rata-rata antara 0 sampai 4,9 meter yang tertutup oleh lapisan tanah dengan istilah (*Overburden*) merupakan batuan ketebalan tanah penutup setiap sendimen yang berbeda- beda, dengan mutu aspal yang tinggi bahwa cadangan Aspal Buton terbesar di daerah lawele. Karateristik Aspal Buton memiliki dua unsur utama berupa Aspal bitumen dan mineral, dengan karateristik fisik dan kimia sebagai hasil ekstraksi, berada di lokasi kabungka dan Lawele tercantum dalam tabel berikut.

Tabel 2. Sifat Fisik Aspal buton di daerah Kabungka dan Lawele

Jenis pengujian	Hasil pengujian	
	Asbuton padat dari	Asbuton padat dari Lawele
Kadar aspal,%	20	30,08
Penetrasi, 25°C,100 gr, 5 detik,0,1 m	4	36
Titik lembek, °C	101	59
Daktilitas, 25°C, 5cm/menit, cm	< 140	< 140
Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃ , %	-	99,6
Titik Nyala, °C	-	198
Berat Jenis	1,046	1,037
Penurunan berat (TFOT), 163°C, 5 jam	-	0,31
Penetrasi setelah TFOT, % asli	-	94
Titik Lembek setelah TFOT, °C	-	62
Daktilitas setelah TFOT, cm	-	>140

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2006)

Tabel 3. Sifat Kimia Aspal buton di daerah Kabungka dan Lawele

Jenis pengujian	Jenis pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton padat dari Lawele
Nitrogen (N),%	29,04	30,08
Acidafins (A1), %	9,33	6,60
Acidafins (A2),	12,98	8,43
Parafin (P), %	11,23	8,86
Parameter Maltene	1,50	2,06
Nitrogen/Parafin, N/P	2,41	3,28
Kandungan Asphaltene, %	39,45	46,92

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2006)

Tabel 4. Komposisi kimia mineral Aspal Buton di daerah Kabungka dan Lawele

Senyawa	Hasil Pengujian	
	Asbuton dari kabungka	Asbuton dari Lawele
CaCO ₃	86,66	72,90
MgCO ₃	1,43	1,28
CaSO ₄	1,11	1,94
CaS	0,36	0,52
H ₂ O	0,99	2,94
SiO ₂	5,64	17,06
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	1,52	2,31
Residu	0,96	1,05

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2006)

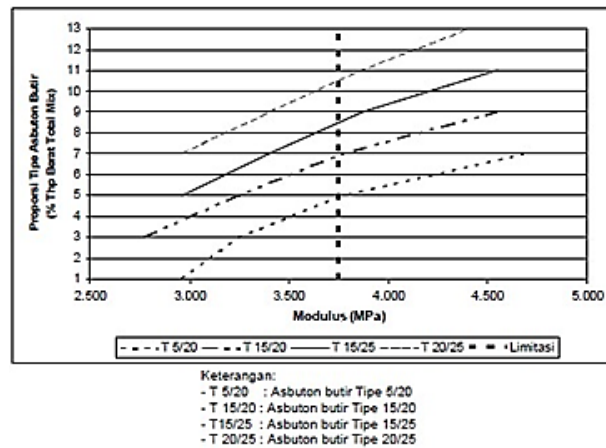
Sesuai komposisi kimia di dalam Tabel bahwa Aspal Buton dari Kedua daerah memiliki Kandungan senyawa Nitrogen (N) *Base* yang tinggi serta parameter Malten yang baik dengan agregat dan keawetan yang cukup baik sesuai hasil dari pengujian.

Produksi Aspal buton alami dilakukan dengan proses Pabrikasi dengan cara di padatkan kemudian dilakukan proses pemisahan sesuai kualitas dan kebutuhan untuk di kemas dalam kedap air untuk menjaga kualitas untuk di distribusikan keseluruh wiayah Indonesia, dalam pengelolaan bahan baku asbuton dengan nilai penetrasi tinggi dengan pengabungan kandungan antara asbuton dari Kabungka dan Lawela dengan komposisi tertentu dengan mengoptimalkan campuran untuk mendapatkan kualitas sesuai kebutuhan. Adapun jenis Pengujian dan persyaratan Asbuton Butir sebagai berikut:

Tabel 5. Komposisi kimia mineral Aspal Buton di daerah Kabungka dan Lawele

Sifat-sifat Asbuton	Metoda Pengujian	Tipe 5/20	Tipe 15/20	Tipe 15/25	Tipe 20/25
Kadar bitumen asbuton; %	SNI 03-3640-1994	18-22	18 - 22	23-27	23 - 27
Ukuran butir					
- Lolos Ayakan No 4 (4,75 mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100	100
- Lolos Ayakan No 8 (2,36 mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100	Min 95
- Lolos Ayakan No 16 (1,18 mm); %	SNI 03-1968-1990	Min 95	Min 95	Min 95	Min 75
Kadar air, %	SNI 06-2490-1991	Maks 2	Maks 2	Maks 2	Maks 2
Penetrasi aspal asbuton pada 25 °C, 100 g, 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	≤10	10 - 18	10 - 18	19 - 22

Sumber: (Departemen Pekerjaan Umum, 2006)



Gambar 2. Peningkatan Modulus dengan beberapa Tipe Asbuton Butir
 Sumber: (Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Kelebihan secara teknik menggunakan Asbuton Butir dengan campuran aspal panas memiliki kelebihan dengan modifikasi Asbuton dan Bitumen Asbuton dengan proposi maksimum dari beberapa tipe Asbuton butir sebagai berikut Tipe 5/20 sebanyak 5%, tipe 15/20 sebanyak 7%, tipe 15/25 sebanyak 8,5% dan tipe 20/25 sebanyak 10,5% maka Modulus Resilien campuran makin tinggi yang menghasilkan diagram grafik di atas.

2.2 Cold Paving Hot Mix Abuton (CPHMA)

CPHMA merupakan campuran panas asbuton yang dihamparkan dingin dengan campuran bersapal yang mengandung asbuton dan bahan tambahan polimer untuk perkerasan jalan raya. Pencampuran di lakukan secara pabrikasi atau di campur saat di pabrik dalam keadaan panas lalu di distribusikan dalam keadaan siap hampar dengan kepadatan dalam temperatur udara dingin. Penggunaan CPHMA dengan batasan untuk penggunaan jalan lalu lintas ringan sampai dengan kapasitas maksimal per hari (Litbang PUPR 2021).

CPHMA yang sudah dipadatkan dengan melakukan uji marshall sebanyak 2x75 tumbukkan dengan total 150 kali tumbukkan pada saat kondisi termperatur 30°C harus memenuhi ketentuan persyaratan sesuai tabel berikut:

Tabel 6. 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)

2.3 Minyak Nabati

Minyak nabati berbentuk cairan yang memiliki satu atau lebih ikatan rangkap di antara atom-atom karbonnya. Sifat cair ini diantaranya disebabkan oleh rendahnya kandungan asam lemak jenuh dan tingginya kandungan asam lemak yang tidak jenuh, sehingga minyak nabati mempunyai titik lebur yang rendah (Winarno, 1991).

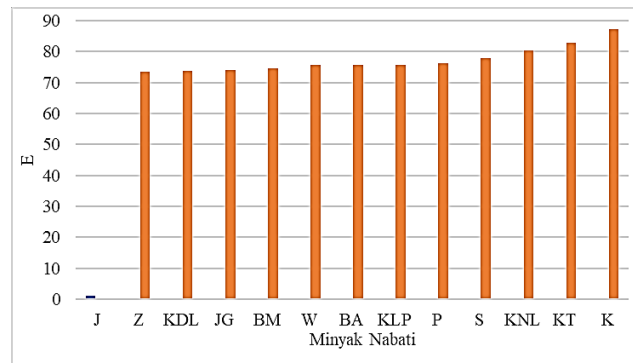
Minyak nabati merupakan pelarut yang dicampurkan pada asbuton untuk melunakkan bitumen didalam asbuton sehingga berfungsi dengan baik untuk perekat maupun pengikat. Diperlukan pelunak karena asbuton seperti batuan yang mempunyai banyak rongga, sehingga dapat mudah diresapi cairan asbuton untuk mengoptimalkan pada saat pengujian serta kinerja pelarut tercampur secara baik. (Dalimin, 1980).

Tabel 7. Persyaratan Pelarut Asbuton

Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Persyaratan PH-1000
Viskositas: - pada 60 °C (cSt) - atau 100 °C,(dtk)	AASHTO T-72	800-1200 80-120
Kelarutan dlm TCE, (%)	SNI 06-2438-1991	Min. 99,5
Titik nyala, (°C)	AASHTO T-73	Min. 180
Berat Jenis,	SNI 06-2441-1991	Min. 0,95
Penurunan berat (TFOT), (%) terhadap berat awal)	SNI 06-2440-1991	Maks. 1
Kadar parafin lilin, (%)	SNI 03-3639-94	Maks. 2

Note: cSt = mm²/dtk → centistoke, viskositas kinematik (DPU Dirjen Bina Marga, 2006)

Minyak nabati yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan oleh penelitian (Djakfar et al., 2020a), dimana dilakukan pengujian *Liquid – Liquid Extraction* (LLE) terhadap potensi 13 minyak nabati sebagai pelarut asbuton. Minyak nabati yang diuji tersebut yaitu minyak Jarak (J), Zaitun (Z), Kedelai (KDL), Jagung (JG), Biji Bunga Matahari (BM), Kelapa (KLP), Padi (P), Sawit (S), Kanola (KNL), Kacang Tanah (KT) dan Kemiri (K). Potensi tertinggi sebagai pelarut Asbuton didapatkan dari Minyak Kemiri, Kanola, dan Kacang Tanah di antara 13 minyak nabati lainnya.



Gambar 3. Hasil Uji LLE

Sumber: Djakfar, Wisnumurti and Khamelda (2020)

Tabel 8. Karakteristik Minyak Nabati

Karakteristik	Minyak Kemiri	Minyak Kanola	Minyak Kacang Tanah
Viskositas	14,86 cp (a)	78,3 cp (a)	29,064-37,061 cp
Titik Nyala	Suhu 100°C	Suhu 290-3308°C	Suhu 70°C
Berat Jenis	0,924-0,929g/ml (SNI)	0,91 – 0,94 g/ml (SNI)	0.917 g/ml (SNI)

Sumber: (a) cp = gr/cm.dtk → centipoise, viskositas dinamik

(b) titik nyala 110°C (SNI min 100°C)

(c) berat jenis = bobot pinkmeter dan minyak – bobot pinknometer
kosong/volume minyak pada 25°C (Ketaren, 2008)

2.3.1 Minyak Kemiri

Minyak kemiri merupakan minyak nabati berbentuk cair, karena mengandung sejumlah asam lemak tidak jenuh dengan titik cair yang rendah. Kandungan minyak dalam biji kemiri tergolong tinggi, yaitu 55 – 66% dari berat bijinya. Komponen utama penyusun minyak kemiri adalah asam lemak tak jenuh, namun mengandung juga asam lemak jenuh dengan persentase yang relatif kecil. Jenis asam lemak dalam minyak biji kemiri diantaranya, asam palmitat, asam stearat, asam oleat, asam linoeat, asam linolenat.

Minyak kemiri disebut sebagai minyak pengering hal ini dikarenakan memiliki derajat ketidak jenuhan yang tinggi karena sebagian besar tersusun oleh asam lemak tak jenuh. Minyak kemiri memiliki bilangan iodin 136 – 167 berarti memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang tinggi dan memang dapat berfungsi sebagai minyak pengering (Ketaren, 1986).



Gambar 4. Biji dan Minyak Kemiri

Kandungan minyak kemiri dari daging biji kemiri sekitar 60 %. Minyak kemiri mengandung asam lemak jenuh, antara lain asam palmitat (4,38 %), asam stearat (3,93 %) dan mengandung asam lemak tidak jenuh, seperti asam oleat (26,23 %), asam linoleat (39,62 %), asam linolenat (20,76 %) dan asam arachidat (0,08 %). Biji yang terdapat di dalamnya memiliki lapisan pelindung yang sangat keras dan mengandung minyak yang cukup banyak.

2.3.2 Minyak Kacang Tanah

Minyak kacang Tanah seperti juga minyak nabati lainnya, merupakan salah satu kebutuhan manusia, yang dipergunakan baik sebagai bahan pangan (*edible purpose*) maupun bahan non pangan (*nonedible purpose*).



Gambar 5. Biji dan Minyak Kacang Tanah

Minyak kacang tanah mengandung 41.3-67.4% asam oleat dan 13.9-35.4% asam linoleat. Kandungan asam lemak tidak jenuh yang tinggi menyebabkan minyak kacang tanah rentan terhadap kerusakan. Kerusakan pada bahan yang mengandung minyak umumnya terjadi melalui dua reaksi, yaitu reaksi hidrolitik dan reaksi oksidatif. Stabilitas minyak nabati sangat dipengaruhi oleh kandungan asam lemak bebas sebagai pemicu terjadinya kerusakan.

Untuk meningkatkan stabilitas minyak selama penyimpanan serta memperbaiki karakteristik fisik dan kimia minyak, maka dilakukan tahap pemurnian minyak yaitu degumming, netralisasi, pemucatan (bleaching), dan deodorisasi. Degumming merupakan suatu proses pemisahan getah atau lendir-lendir yang terdiri dari fosfatida, residu, karbohidrat, air, dan resin dengan tanpa mengurangi kadar asam lemak bebas dalam minyak dan dilakukan dengan penambahan asam kuat.

Proses pemucatan dilakukan dengan adsorben yang memiliki aktifitas permukaan yang tinggi untuk menyerap zat warna pada minyak. Proses pemucatan dilakukan dengan metode batch. Adsorben yang ditambahkan pada gelas beaker sesuai kombinasi perlakuan. Proses dilakukan selama 20, 40, dan 60 menit dengan suhu dipertahankan antara 900 -1050C pada hot plate stirrer. Adsorben dimasukkan pada minyak yang telah dipanaskan dan mencapai suhu yang diinginkan. Selama proses pemucatan minyak diaduk dengan stirrer dengan kecepatan 400 rpm. Minyak yang telah selesai diproses disentrifugasi dengan kecepatan 8500 rpm selama 10 menit (Suryani, dkk. 2016).

2.3.3 Minyak Kanola

Minyak kanola dapat disebut juga dengan minyak biji rapa dengan kandungan di dalamnya asan linolenat yang tinggi, memerlukan proses modifikasi lemak untuk memperbaiki tingkat stabilitas osidatif sehingga dapat di gunakan sebagi minyak campuran pengikat asbuton). Minyak ini memiliki warna kuning keemasan, Dengan titik didih-nya yang tinggi, minyak Kanola baik digunakan sebagai minyak goreng. Minyak kanola telah dipopulerkan beberapa ribu tahun yang lalu, dan semakin meningkat penggunaan serta penggolongannya pada tahun 1960. Kanola (*Brassicca napus L.*) adalah salah satu tanaman biji yang

dibudidayakan diseluruh dunia terutama di Kanada, selain bungan matahari, biji anggur, zaitun dan kedelai. Minyak kanola dipilih secara genetik untuk kandungan rendah asam lemak tidak jenuh karena rendah kolesterol dan dapat diformulasikan dalam pembuatan kosmetik dan sabun. Minyak kanola juga mengandung omega 3 dan omega 6 (Malkin, 2006).

Tabel 9. Kandungan Minyak Kanola

Sifat	Nilai kandungan Minyak Kanola
Nilai asam	40,5
Kepadatan (g/cm^3)	0,913 – 0,917
Asam erusat (%)	42
Titik nyala ($^{\circ}\text{C}$)	290 – 3308
Asam lemak (%)	40,05
Titik beku ($^{\circ}\text{C}$)	10–28
Jumlah yodium	94–126
Indeks	1.465-1.469
Nilai penyabunan	186–198
Kelarutan	Larut dalam kloroform dan eter, praktis larut dalam etanol (95%)
Viskositas (cp)	77,3 – 78,3

Sumber: (Malkin, 2006)



Gambar 6. Bunga dan Minyak Kanola

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Sebagian besar penelitian kuantitatif dilakukan dengan menggunakan metode statistik yang digunakan untuk mengumpulkan data kuantitatif dari studi penelitian. Dalam penelitian kuantitatif, para peneliti dan ahli statistik menggunakan kerangka kerja matematika dan teori-teori terkait (Syafnidawaty, 2020).

3.2 Obyek Penelitian

Obyek penelitian yang digunakan terdiri 15 sampel berbentuk briket dan merupakan simulasi dari lapisan perkerasan CPHMA yang di berikan mendapatkan perlakuan yang sama

berupa komposisi yang terdiri atas agregat (761,1 gr), pelarut (47,8 gr) dan asbuton (238,9 gr) untuk selanjutnya di lakukan proses pencampuran.

Tabel 10. 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)

Sampel mendapat perlakuan dengan variasi minyak nabati yang merupakan variabel X yaitu minyak kemiri, kacang tanah, kanola, 5 sampel untuk setiap varian. Suhu pemanasan (170°C) dan kuantitas pelarut 20% terhadap berat asbuton (47,8 gr), durasi pemanasan (40 mnt) yang merupakan variabel Y berdasarkan penelitian (Djakfar et al., 2020a).

Tabel 11. Rancangan Penelitian

No.	Variabel X			Variabel Y
	Kemiri	Kacang Tanah	Kanola	
1	A	A	A	- Suhu Pemanasan = 170°C - Kuantitas Pelarut = 47,8 gr - Durasi Pemanasan = 40 mnt
2	B	B	B	
3	C	C	C	
4	D	D	D	
5	E	E	E	

3.4 Pengumpulan Data

Penelitian ini merupakan pengujian skala laboratorium pada aplikasi *modifier* pada CPHMA dengan banyak variabel yang mempengaruhi kinerja asbuton, salah satunya adalah metode pembuatan benda uji. Hasil penelitian Djakfar et al. (2020b) diperoleh metode dengan penambahan proses pendiaman setelah proses perendaman memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional, sedangkan penerapan proses di lapangan dapat berupa penggunaan jalan yang ditunda 1 hari setelah proses pemadatan.

Tahap pengujian pada penelitian ini adalah menggunakan Uji Marshall yaitu sebagai berikut:

1. Penimbangan

Penimbangan dilakukan terhadap material sesuai dengan berat yang dibutuhkan dalam campuran CPHMA, Minyak nabati sebagai pelarut antaranya Minyak Kemiri, Minyak Kanola, dan Minyak Kacang tanah dengan melakukan penimbangan terdiri atas agregat (761,1 gr), pelarut (47,8 gr) dan asbuton (238,9 gr) (Djakfar et al., 2020b).

2. Pencampuran

Pencampuran antara asbuton, agregat dan pelarut dilakukan secara manual dalam wadah alumunium agregat, asbuton dan ketiga pelarut secara manual dengan di aduk

dengan spatula secara merata sehingga bahan yang di gunakan dapat teraduk dengan sempurna pada suhu ruang sesuai ketentuan. Pencampuran dilakukan sebelum pemanasan dengan tujuan agar pelarut dapat berinteraksi dengan asbuton.

3. Pemanasan

Proses pemansan dilakukan menggunakan oven dengan suhu 40°C selama 40 menit untuk minyak kemiri, kacang tanah, dan kanola. Bertujuan untuk melunakkan mineral dan aspal dengan maksimal.

4. Pemadatan

Proses pemadatan dilakukan setelah beberapa bahan di campur dengan keasaaman bahan dan takaran dengan kebutuhan setiap sampel sama diantara pelalarut yang berbeda, menggunakan alat penumbuk dengan pemadatan sebanyak 75 kali setiap sisi dari atas dan bawah untuk memenuhi kepadatan sesuai kebutuhan, sebelum di lakukan penumbukkan material yang telah tercampur secara merata di tusuk-tusuk 15 kali di bagian tengah dan 10 kali di bagian luar bertujuan untuk meratakan semua bagian pengisian rongga dan meratakan posisi agregat.

5. Pendiaman ke - 1

Briket setelah di padatkan kemudian dikeluarkan dari molt dengan menggunakan dongkrak untuk dilakukan pendiaman selama 24 jam. Merupakan hasil simulasi dari tahapan di lapangan dengan menggunakan alat *Tandem Roller*, sebagaimana perkerasan di jalan raya tidak di lintasi setidaknya dalam jangka waktu 24 jam.

6. Pengukuran

Proses pengukuran briket menggunakan timbangan digital untuk mendapatkan berat kering dan menggunakan jangka sorong untuk mengukur ketebalan serta diameter setiap sampel.

7. Perendaman

Perendaman briket dilakukan selama 24 jam untuk setiap sample yang berisi wadah pada suhu ruang. Proses ini dapat menganalogikan jika perkerasan mengalami perendaman di akibatkan oleh curah hujan tinggi dan keadaan aspal tergenang air, perendaman menjadi salah satu kunci briket tersebut layak untuk di lakukan pengujian berikutnya.

8. Pengukuran

Briket setelah di rendam 24 jam ditimbang menggunakan timbangan dunagan dan timbangan digital untuk mengetahui berat dalam air serta penimbangan berat SSD.

Pengukuran di lakukan guna mengetahui berat di dalam air (kg) dan berat jenis permukaan jenuh (berat SSD).

9. Pendiaman tahap ke – 2

Pendiaman selama 24 jam untuk ke dua kalinya setiap sample dilakukan sama dari kegiatan pendiaman sebelumnya merupakan tahapan pengujian marshall.

10. *Waterbath*

Proses pemanasan menggunakan *waterbath* setelah didiamkan kedua kalinya pada hari ke-3 dengan suhu 60°C selama 30 menit untuk setiap sampel mendapatkan perlakuan yang sama. Dapat di asumsikan sampel dalam keadaan terendam air dan terpapar sinar matahari.

11. Uji Marshall

Proses Uji Marshall dilakukan dengan menggunakan alat *Compression* tersebut, memberikan penekanan terhadap beriket untuk menerima beban sampai mengalami keruntuhan. Terlihat dalam arloji *flow* berputar berlawanan dengan jarum jam sehingga beban maksimal yang di terima oleh briket akan terlihat dalam arloji stabilitas yang memenuhi ketentuan dan sesuai dalam kriteria perencanaan.

3.5 Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari pengujian kemudian diolah berdasarkan ketentuan pengujian Marshall yang bertujuan untuk mendapatkan hasil Marshall yang optimal di antaranya:

3.5.1 Stabilitas Marshall

Kemampuan maksimum benda uji campuran beraspal dalam menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis, yang dinyatakan dalam satuan kilo gram (DPU Dirjen Bina Marga, 2006). Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban tanpa mengalami perubahan dengan kondisi tetap. Nilai stabilitas akan naik seiring dengan bertambahnya kadar aspal hingga mencapai puncaknya pada Kadar Aspal Optimum (KAO). Setelah mencapai KAO, maka pertambahan kadar aspal akan menurunkan nilai stabilitas (Laboratorium Rekayasa Jalan ITB, 2001).

Tabel 12. Pengolahan Nilai Stabilitas Marshall

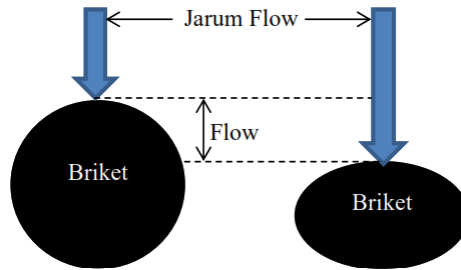
No.	Data	Pengolahan	Satuan
1	Pembacaan Arloji Stabilitas (o)	diukur	Div
2	Faktor Kalibrasi (w)	29,03 (ditetapkan berdasarkan kalibrasi alat)	lbf/div
3	Angka Korelasi (x)	Berdasarkan tabel koreksi untuk dimensi dan volume	--
4	Konversi lbf ke kg (y)	0,45	kg/lbf
5	Nilai Stabilitas (p)	$o \cdot w$	Lbf
6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

Tabel 13. 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
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

3.5.2 Flow (Kelelehan)

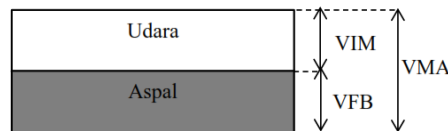
Besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang (DPU Dirjen Bina Marga, 2006). Kelelehan merupakan deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai *flow* akan naik sesuai penambahan nilai stabilitas dan kadar aspal sebagaimana saat dilakukan pengujian Marshall (Laboratorium Rekayasa Jalan ITB, 2001).

**Gambar 7.** Ilustrasi Pembaca Nilai *Flow***Tabel 14.** Pengolahan Nilai *Flow* (Pelelehan)

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

Untuk perhitungan volume rongga dalam aspal dibagi menjadi 3, antara lain:

**Gambar 8.** Ilustrasi Rongga dalam Campuran

A. Voids In Mix (VIM)

Ruang udara di antara partikel agregat yang diselimuti aspal dalam satu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume *bulk* total campuran (DPU Dirjen Bina Marga, 2006). Nilai *Voids In Mix* 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 mengalami kondisi penurunan pada modifier terhadap fungsi dari sample yang di uji (Kasan, 2009).

Tabel 15. 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	$100\% - (100\% (g / h))$	%

B. Void In Mineral Agregat (VMA)

Volume rongga di antara partikel agregat pada suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji campuran (DPU Dirjen Bina Marga, 2006). 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 16. 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	ditimbang	gr
9	Berat Aspal	b . c	gr
10	Berat Pelarut	ditimbang	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	Berat Pelarut	ditimbang	gr
18	Volume Pelarut	Berat Pelarut / BJ Pelarut	cm ³
19	Volume Agregat	Volume Campuran – Volume Aspal – Volume Pelarut	cm ³
20	BJ Agregat (u)	Berat Agregat / Volume Agregat	gr/cm ³
21	j	(t . g) / u	--
22	Nilai VMA	100% - j	%

C. Void Filled With Bitumen (VFB)

Persen ruang diantara partikel agregat (VMA) yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat, dinyatakan dalam persen terhadap VMA (DPU Dirjen Bina Marga, 2006). Nilai VFB akan semakin naik sesuai penambahan kadar aspal karena rongga semakin banyak terisi aspal (Laboratorium Rekayasa Jalan ITB, 2001).

Tabel 17. 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
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)	%

3.5.4 Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan perbandingan nilai stabilitas dengan *flow* yang menunjukkan besarnya beban yang menyebabkan penurunan perkerasan setiap mm. 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 18. Pengolahan Nilai VIM

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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN**4.1. Stabilitas Marshall**

Kode Sample = Kemiri + 0M

Pembacaan Arloji Stabilitas (o) = 57 div (diukur)

Faktor Kalibrasi (w) = 0,045 Kn/div (ditetapkan berdasarkan kalibrasi alat)

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

Konversi lbf ke kg (y) = 101,97 kg/kN

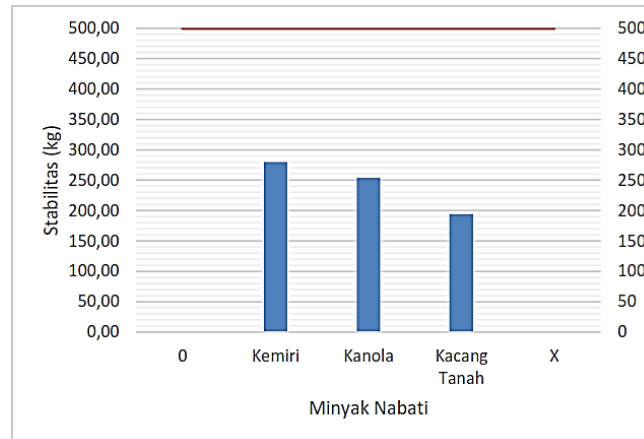
Nilai Stabilitas (p) = o . w
= 57 div . 0,045 lbf/div = 2,565 kN

Nilai Stabilitas (q) = p . y . x
= 2,9241 kN . 101,97 kg/kN . 1,14 = 298,17 kg

Tabel 19. Hasil Perhitungan Stabilitas Marshall

No.	Kode	Pembacaan Arloji Stabilitas	Faktor Kalibrasi	Angka Korelasi	Konversi lbf ke kg	Nilai Stabilitas	Nilai Stabilitas	Rerata
Satuan		div	kN/div		kg/kN	lbf	kg	
Notasi		(o)	(w)	(x)	(y)	(p)	(q)	
1	K+0M	57	0,045	1,14	101,97	2,565	298,17	223,63
2	K+0M	40	0,045	1,19	101,97	1,8	218,41	
3	K+0M	65	0,045	1,14	101,97	2,95	340,01	
4	K+0M	0	0,045	1,19	101,97	0	0	
5	K+0M	50	0,045	1,14	101,97	2,25	261,55	

6	KNL+0M	43	0,045	1,04	101,97	1,93	205,20	253,811
7	KNL+0M	52	0,045	1,09	101,97	2,34	260,08	
8	KNL+0M	60	0,045	1,09	101,97	2,7	300,09	
9	KNL+0M	50	0,045	1,04	101,97	2,25	238,60	
10	KNL+0M	53	0,045	1,09	101,97	2,38	265,08	
11	KT+0M	30	0,045	1,04	101,97	1,35	143,16	193,98
12	KT+0M	53	0,045	1,09	101,97	2,38	265,08	
13	KT+0M	42	0,045	1,09	101,97	1,89	210,06	
14	KT+0M	35	0,045	1,09	101,97	1,57	175,05	
15	KT+0M	37	0,045	1,04	101,97	1,66	176,57	



Gambar 9. Grafik Hubungan Stabilitas Vs Minyak Nabati

Berdasarkan nilai stabilitas marshall, dapat terlihat bahwa rerata nilai stabilitas untuk ketiga variasi pelarut tidak memenuhi standar CPHMA yaitu dibawah nilai stabilitas minimum (500 kg). Nilai stabilitas tertinggi didapatkan dari minyak kemiri dengan rerata nilai stabilitas sebesar 279,54 kg. Semakin tinggi nilai stabilitas maka akan menghasilkan perkerasan yang lebih baik, karena menunjukkan beban maksimal yang dapat didukung oleh perkerasan.

4.2 Flow (Pelelehan)

Kode Sampel = Kemiri + 0M

Pembacaan Arloji *Flow* (r) = 350 div (diukur)

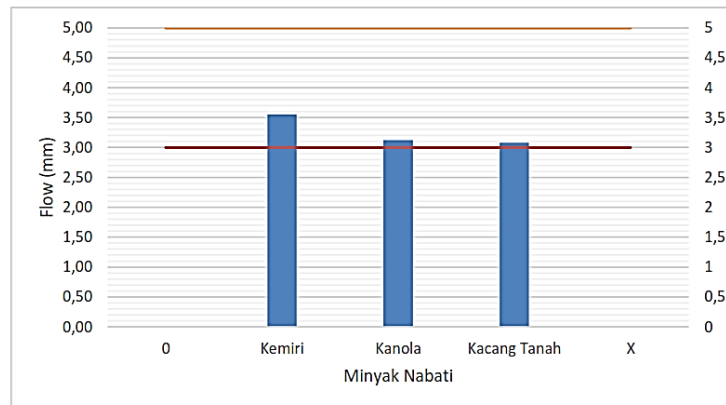
Nilai *Flow* = $r \cdot 0,01 \text{ mm/div}$

= $350 \text{ div} \cdot 0,01 \text{ mm/div} = 3,5 \text{ mm}$

Tabel 20. Hasil Perhitungan *Flow*

	No.	Kode	Pembacaan Arloji Flow	Nilai Flow	rerata
Satuan			div		
Notasi			(r)		
	1	K+0M	350	3,5	2,84
	2	K+0M	360	3,6	
	3	K+0M	350	3,5	
	4	K+0M	0	0	
	5	K+0M	360	3,6	
	6	KNL+0M	300	3	

	7	KNL+0M	300	3	3,12
	8	KNL+0M	320	3,2	
	9	KNL+0M	320	3,2	
	10	KNL+0M	320	3,2	
	11	KT+0M	360	3,6	3,18
	12	KT+0M	320	3,2	
	13	KT+0M	320	3,2	
	14	KT+0M	300	3	
	15	KT+0M	290	2,9	



Gambar 10. Grafik Hubungan *Flow* Vs Minyak Nabati

Berdasarkan nilai *flow*, dapat terlihat bahwa rerata nilai *flow* untuk ketiga variasi minyak nabati memenuhi standar CPHMA yaitu diatas nilai minimum (3 mm) dan di bawah nilai maksimum (5 mm). Nilai *flow* tertinggi didapatkan dari minyak kemiri dengan rerata nilai *flow* sebesar 3,55 mm. Idealnya, semakin tinggi nilai *flow* maka akan menghasilkan perkerasan yang lebih baik, karena 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 Mix (VIM)

Kode Sample = Kemiri + 0M

g = 2,13 gr (dari perhitungan VMA)

t = 0,94 (dari perhitungan VMA)

u = 2,53 gr/cm³ (dari perhitungan VMA)

b = 6% (dari perhitungan VMA)

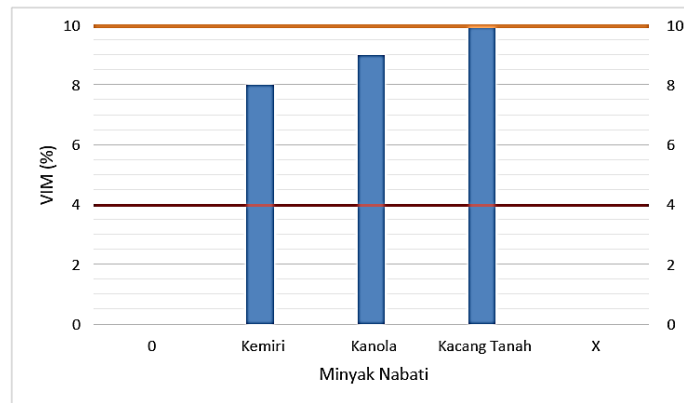
v = 1,037 gr/cm³ (dari perhitungan VMA)

$$\begin{aligned}
 \text{BJ Maksimum (h)} &= 100 / \{[(t / u) 100] + [(b / v) 100]\} \\
 &= 100 / \{[(0,94 / 2,53 \text{ gr/cm}^3) 100] + [(6\% / 1,037 \text{ gr/cm}^3) 100]\} \\
 &= 2,335 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{VIM} &= 100\% - (100\% (g / h)) \\
 &= 100\% - (100\% (2,13 / 2,335)) = 0,08 = 8\%
 \end{aligned}$$

Tabel 21. 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/cm3	%	gr/cm3	gr/cm3	%	
Notasi		(g)	(t)	(u)	(b)	(v)	(h)		
1	K+0M	2,13	0,94	2,53	6%	1,307	2,335	0,08	0,081
2	K+0M	2,17	0,94	3,58	6%	1,307	2,369	0,08	
3	K+0M	2,15	0,94	2,52	6%	1,307	2,328	0,07	
4	K+0M	2,14	0,94	2,56	6%	1,307	2,359	0,09	
5	K+0M	2,14	0,94	2,51	6%	1,307	2,319	0,07	
6	KNL+0M	2,05	0,94	2,47	6%	1,307	2,286	0,10	0,092
7	KNL+0M	2,10	0,94	2,49	6%	1,307	2,300	0,08	
8	KNL+0M	2,07	0,94	2,47	6%	1,307	2,288	0,09	
9	KNL+0M	2,05	0,94	2,45	6%	1,307	2,265	0,09	
10	KNL+0M	2,07	0,94	2,47	6%	1,307	2,285	0,09	
11	KT+0M	2,05	0,94	2,47	6%	1,307	2,282	0,10	0,098
12	KT+0M	2,08	0,94	2,53	6%	1,307	2,331	0,10	
13	KT+0M	2,07	0,94	2,49	6%	1,307	2,302	0,09	
14	KT+0M	2,09	0,94	2,50	6%	1,307	2,306	0,09	
15	KT+0M	2,06	0,94	2,47	6%	1,307	2,288	0,09	

**Gambar 11.** Grafik Hubungan VIM Vs Minyak Nabati

Berdasarkan nilai VIM, dapat terlihat bahwa rerata nilai VIM untuk ketiga variasi minyak nabati memenuhi standar CPHMA yaitu dalam batas 4 – 10%. Nilai VIM tertinggi didapatkan dari minyak kacang tanah dengan rerata nilai VIM sebesar 10%. 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).

4.4 Void In Mineral Agregat (VMA)

Kode Samepl = Kemiri + 0M

% Aspal terhadap Campuran (b) = 6% (*Job Mix Formula*)

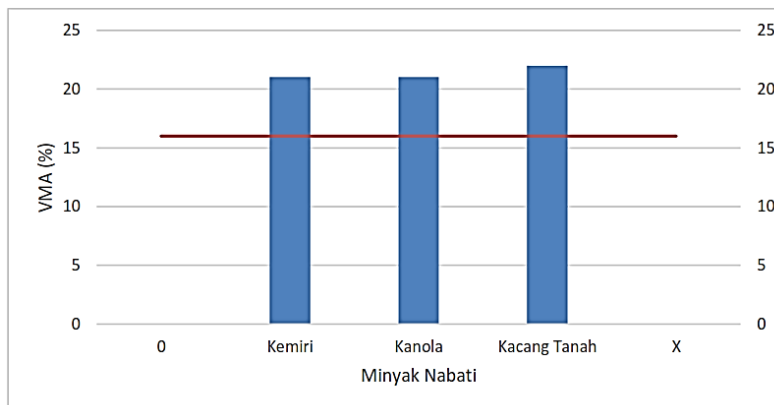
% Agregat terhadap Campuran (t) = 100% - b = 100% - 6% = 0,94

Berat Kering Briket (c) = 1020,9 gr (ditimbang)

Berat SSD Briket (d) = 1037,1 gr (ditimbang)

Berat dalam Air Briket (e) = 559 gr (ditimbang)

$$\begin{aligned}
\text{Berat Isi Briket (f)} &= d - e = 1037,1 \text{ gr} - 559 \text{ gr} = 478,1 \text{ gr} \\
\text{Berat Isi Benda Uji Briket (g)} &= c / f = 1020,9 \text{ gr} / 478,1 \text{ gr} = 2,13 \text{ gr} \\
\text{Berat Campuran} &= 1000 \text{ gr (ditimbang)} \\
\text{Berat Aspal} &= b \cdot c = 6\% \cdot 1020,9 \text{ gr} = 61,25 \text{ gr} \\
\text{Berat Pelarut} &= 47,8 \text{ gr (ditimbang)} \\
\text{Berat Agregat} &= \text{Berat Campuran} - \text{Berat Aspal} - \text{Berat Pelarut} \\
&= 1000 \text{ gr} - 61,25 \text{ gr} - 47,8 \text{ gr} = 890,95 \text{ gr} \\
\text{BJ Air} &= 1 \text{ gr/cm}^3 \text{ (ketetapan)} \\
\text{Volume Campuran} &= (c - e) / \text{BJ Air} = (1020,9 \text{ gr} - 559 \text{ gr}) / 1 \text{ gr/cm}^3 = 461,9 \text{ cm}^3 \\
\text{BJ Aspal (v)} &= 1,04 \text{ gr/cm}^3 \text{ (ketetapan)} \\
\text{Volume Aspal} &= (b \cdot c) / v = (6\% \cdot 1020,9 \text{ gr}) / 1,03 \text{ gr/cm}^3 = 59,06 \text{ cm}^3 \\
\text{BJ Pelarut} &= 0,92 \text{ gr/cm}^3 \text{ (ketetapan)} \\
\text{Berat Pelarut} &= 47,8 \text{ gr (ditimbang)} \\
\text{Volume Pelarut} &= \text{Berat Pelarut} / \text{BJ Pelarut} = 47,8 \text{ gr} / 0,92 \text{ gr/cm}^3 = 51,89 \text{ cm}^3 \\
\text{Volume Agregat} &= \text{Volume Campuran} - \text{Volume Aspal} - \text{Volume Pelarut} \\
&= 461,9 \text{ cm}^3 - 59,06 \text{ cm}^3 - 51,96 \text{ cm}^3 = 350,94 \text{ cm}^3 \\
\text{BJ Agregat (u)} &= \text{Berat Agregat} / \text{Volume Agregat} \\
&= 890,95 \text{ gr} / 350,94 \text{ cm}^3 = 2,53 \text{ gr/cm}^3 \\
j &= (t \cdot g) / u = (0,94 \cdot 2,13 \text{ gr}) / 2,52 \text{ gr/cm}^3 = 0,79 \\
\text{VMA} &= 100\% - j = 100\% - 0,79 = 0,21 = 21\%
\end{aligned}$$



Gambar 12. Grafik Hubungan VMA Vs Minyak Nabati

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 minyak kacang tanah 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 22. 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	Berat Agregat
Satuan Notasi		% (b)	% (t)	gr (c)	gr (d)	gr (e)	gr (f)	gr (g)	gr	gr	gr	gr
1	K+0M	6%	0,94	1020,9	1037,1	559	478,1	2,13	1000	61,25	47,8	890,95
2	K+0M	6%	0,94	1012,8	1025	558,9	466,1	2,17	1000	60,88	47,8	891,31
3	K+0M	6%	0,94	1025,9	1038,2	562,5	475,7	2,15	1000	61,55	47,8	890,65
4	K+0M	6%	0,94	1006,9	1018,7	549,5	469,2	2,14	1000	60,41	47,8	891,79
5	K+0M	6%	0,94	1023,9	1036,4	559	477,4	2,14	1000	61,43	47,8	890,77
6	KNL+0M	6%	0,94	1020,5	1045,7	549,5	496,2	2,05	1000	61,23	47,8	890,97
7	KNL+0M	6%	0,94	1022,7	1040,6	554	486,6	2,10	1000	61,36	47,8	890,84
8	KNL+0M	6%	0,94	1026,5	1049,5	555,5	494	2,07	1000	61,59	47,8	890,61
9	KNL+0M	6%	0,94	1025	1047,9	550	497,9	2,05	1000	61,5	47,8	890,7
10	KNL+0M	6%	0,94	1025,9	1049,5	554,5	495	2,07	1000	61,55	47,8	890,65
11	KT+0M	6%	0,94	1026,7	1054,8	554	500,8	2,05	1000	63,28	47,8	888,91
12	KT+0M	6%	0,94	1022,7	1048,9	559	489,9	2,08	1000	62,93	47,8	889,27
13	KT+0M	6%	0,94	1023,2	1046,6	554,5	492,1	2,07	1000	62,79	47,8	889,4
14	KT+0M	6%	0,94	1025,1	1047,2	557	490,2	2,09	1000	62,83	47,8	889,37
15	KT+0M	6%	0,94	1025,5	1051	554	497	2,06	1000	63,06	47,8	889,14

BJ Air	Volume Campuran	BJ Aspal	Volume Aspal	BJ Pelarut	Berat Pelarut	Volume Pelarut	Volume Agregat	BJ Agregat		VMA	rerata
gr/cm3	cm3	gr/cm3 (v)	cm3	gr/cm3		cm3	cm3	gr/cm3 (u)	(j)	%	
1	461,9	1,04	59,06	0,92	47,8	51,89	350,94	2,53	0,79	0,21	0,20
1	455,9	1,04	58,71	0,92	47,8	51,89	345,29	2,58	0,79	0,21	
1	463,4	1,04	59,35	0,92	47,8	51,89	352,15	2,52	0,80	0,19	
1	457,4	1,04	58,25	0,92	47,8	51,89	347,25	2,56	0,78	0,21	
1	464,9	1,04	59,24	0,92	47,8	51,89	353,76	2,51	0,80	0,20	
1	471	1,04	59,04	0,92	47,8	52,33	359,62	2,47	0,78	0,21	0,21
1	468,7	1,04	59,17	0,92	47,8	52,33	359,62	2,49	0,79	0,20	
1	471	1,04	59,39	0,92	47,8	52,33	357,19	2,47	0,78	0,21	
1	475	1,04	59,10	0,92	47,8	52,33	359,27	2,45	0,78	0,21	
1	471,4	1,04	59,35	0,92	47,8	52,33	363,36	2,47	0,78	0,21	
1	472,7	1,04	61,03	0,92	47,8	52,01	359,66	2,47	0,77	0,22	0,21
1	463,7	1,04	60,68	0,92	47,8	52,01	351	2,53	0,77	0,22	
1	468,7	1,04	60,55	0,92	47,8	52,01	356,13	2,49	0,78	0,21	
1	468,1	1,04	60,59	0,92	47,8	52,01	355,5	2,50	0,78	0,21	
1	471,5	1,04	60,81	0,92	47,8	52,01	358,68	2,47	0,78	0,21	

4.5 Void Filled With Bitumen (VFB)

Kode Sampel = Kemiri + 0M

b = 6% (dari perhitungan VMA)

g = 2,13 gr (dari perhitungan VMA)

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

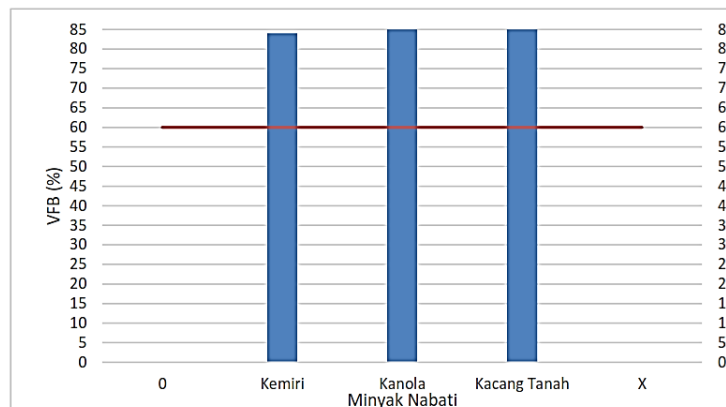
i = (b . g) / v = (6% . 2,13) / 1,04 = 0,12

j = 0,79 (dari perhitungan VMA)

VFB = 100% - (i / j) = 100% - (0,12 / 0,79) = 0,85 = 85%

Tabel 23. 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	K+0M	6%	2,13	1,04	0,12	0,79	85%	0,84
	2	K+0M	6%	2,17	1,04	0,12	0,79	85%	
	3	K+0M	6%	2,15	1,04	0,12	0,80	85%	
	4	K+0M	6%	2,14	1,04	0,12	0,78	85%	
	5	K+0M	6%	21,4	1,04	0,12	0,80	85%	
	6	KNL+0M	6%	2,05	1,04	0,11	0,78	85%	0,85
	7	KNL+0M	6%	2,10	1,04	0,12	0,79	85%	
	8	KNL+0M	6%	2,07	1,04	0,12	0,78	85%	
	9	KNL+0M	6%	2,05	1,04	0,11	0,78	85%	
	10	KNL+0M	6%	2,07	1,04	0,11	0,78	85%	
	11	KT+0M	6%	2,05	1,04	0,11	0,77	85%	0,84
	12	KT+0M	6%	2,08	1,04	0,12	0,77	85%	
	13	KT+0M	6%	2,07	1,04	0,12	0,78	85%	
	14	KT+0M	6%	2,09	1,04	0,12	0,78	85%	
	15	KT+0M	6%	2,06	1,04	0,11	0,78	85%	

**Gambar 13.** Grafik Hubungan VFB Vs Minyak Nabati

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 minyak kanola dan kacang tanah dengan rerata nilai FB 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.

4.6 Marshall Quotient (MQ)

Kode Sampel = Kemiri + 0M

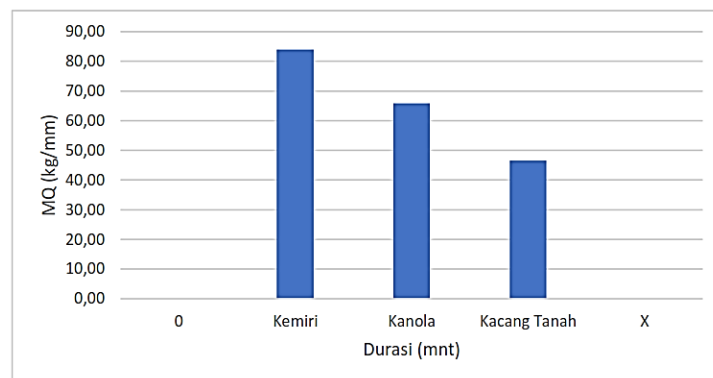
Nilai Stabilitas (q) = 600,99 kg (dari perhitungan stabilitas marshall)

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

MQ = $q / \text{nilai flow} = 600,99 \text{ kg} / 3,47 \text{ mm} = 173,2 \text{ kg/mm}$

Tabel 24. Hasil Perhitungan MQ

	No.	Kode	Nilai	Nilai Flow	MQ	rerata
Satuan			kg	mm	kg/mm	
Notasi			(q)			
	1	A-10 mnt	298,17	3,50	85,19	83,99
	2	B-10 mnt	218,42	3,60	60,67	
	3	C-10 mnt	340,02	3,50	97,15	
	4	D-10 mnt	0,00	0,00	0,00	
	5	E-10 mnt	261,55	3,60	72,65	
	6	A-30 mnt	205,20	3,00	68,40	65,7
	7	B-30 mnt	260,08	3,00	86,69	
	8	C-30 mnt	300,10	3,20	93,78	
	9	D-30 mnt	238,61	3,20	74,57	
	10	E-30 mnt	265,09	3,20	82,84	
	11	A-60 mnt	143,17	3,60	39,77	45,02
	12	B-60 mnt	265,09	3,20	82,84	
	13	C-60 mnt	210,07	3,20	65,65	
	14	D-60 mnt	175,06	3,00	58,35	
	15	E-60 mnt	176,57	2,90	60,89	

**Gambar 14.** Grafik Hubungan MQ Vs Minyak Nabati

Nilai MQ tertinggi didapatkan dari minyak kemiri dengan rerata nilai MQ sebesar 83,99 kg/mm. Hal ini menunjukkan bahwa variasi minyak kemiri memberikan kekuatan tertinggi dalam penerimaan beban. Dibandingkan kedua variasi lainnya, dibutuhkan beban yang relatif besar untuk menyebabkan deformasi pada perkerasan per mm-nya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa tiga pelarut yang memenuhi kriteria parameter marshall sebagai kinerja untuk memenuhi standart CPHMA dengan ketentuan:

1. Berdasarkan Nilai Stabilitas Marshall di hasilkan, dari ketiga variasi pelarut yang digunakan mendapatkan Minyak Kemiri, sebagai pelarut mengikat asbuton tertinggi dengan nilai 279,81 kg di antara dua minyak nabati lainnya.

2. Berdasarkan Nilai Flow di hasilkan, dari ketiga variasi pelarut yang digunakan mendapatkan Minyak Kemiri memiliki nilai *flow* tinggi dengan nilai 3,55 mm maka akan menghasilkan perkerasan yang lebih baik di antara dua minyak nabati lainnya.
3. Berdasarkan Persentase Rongga dalam campuran di hasilkan, dari ketiga variasi pelarut yang digunakan terbagi menjadi Nilai VIM, Nilai VMA, dan Nilai VFB di dapatkan:
 - Nilai VIM dari ketiga variasi pelarut, terlihat bahwa yang memenuhi standrat nilai tertinggi terdapat pada Minyak Kacang Tanah dengan nilai 1% diantara dua minyak nabati lainnya.
 - Nilai VMA dari ketiga variasi pelarut, terlihat bahwa yang memenuhi standrat nilai tertinggi terdapat pada Minyak Kacang Tanah dengan nilai 22% diantara dua minyak nabati lainnya.
 - Nilai VFB dari ketiga variasi pelarut, terlihat bahwa yang memenuhi standrat nilai tertinggi terdapat pada Minyak Kacang Tanah dengan nilai 0,85% di antara dua minyak nabati lainnya.
4. Berdasarkan Nilai Marshall Qutient di hasilkan, dari ketiga variasi pelarut yang digunakan mendapatkan Minyak Kemiri memiliki nilai 83,99 kg/mm di antara dua minyak nabati lainnya, Nilai stablitas tidak selalu berbanding lurus dengan nilai MQ. Maka di hasilkan Nilai MQ yang tinggi jika Nilai Stabilitas tinggi sedangkan nilai *Flow* rendah.

Dalam penelitian ini, dari ketiga variasi minyak nabati yang optimum ditinjau dari nilai MQ menghasilkan beban maksimal yang diterima oleh perkerasan hingga mampu menyebabkan deformasi tiap mm-nya. Sebagaimana dapat diasumsikan bahwa semakin besar nilai MQ maka semakin besar pula ketahanan perkerasan terhadap beban yang diterima. Karena, dapat disimpulkan dalam penelitian ini bahwa kinerja CPHMA yang teroptimum didapatkan dari variasi pelarut minyak Kemiri. Sehingga dalam kondisi ketiga variasi minyak nabati sebagai pelarut, dapat disimpulkan minyak kemiri dapat mengikat asbuton secara merata dan menghasilkan perkerasan terbaik.

5.2 Saran

1. Penelitian dapat dikembangkan untuk teknologi infrastuktur yang memanfaatkan asbuton, sehingga dalam jangka panjang masyarakat dapat mengelola Sumber Daya Alam dengan maksimal.
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

- 2013, D. B. M. (n.d.). 2013_SKh-1.6.3.3 Cold Paving Hot Mix Asbuton.pdf.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2006). Pemanfaatan Asbuton Buku 1 Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. (2006). Pemanfaatan Asbuton. Buku 1. Umum.
- Djakfar, L., Wisnumurti, & Khamelda, L. (2020a). Alternatif Peremaja Asbuton.
- Djakfar, L., Wisnumurti, & Khamelda, L. (2020b). Laporan Kemajuan PDD Lila Khamelda 2020.
- Djakfar, L., Wisnumurti, & Khamelda, L. (2020c). 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.
- Kasan, M. (2009). Studi Karakteristik Volumetrik Campuran Beton Aspal Daur Ulang. *SMARTeK*, 7(3), 152–165.
- Kementerian PUPR Dirjen Bina Marga. (2016). Spesifikasi Interim CPHMA.
- Laboratorium Rekayasa Jalan ITB. (2001). Buku Besar Laboratorium Rekayasa Jalan. ITB.
- Malkin, R. (2006). On site service factor works for minetec. In *AusIMM Bulletin* (Issue 1).
- 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.
- Penelitian, A. J. (1938). Laporan kemajuan penelitian multi tahun. 8, 3–6.
- Puslitbang. (2018). Renstra Loka Asbuton.
- Setya Budi, A. F., Liem, F. N., & Alokabel, K. (2017). Studi Komparasi Pengaruh Variasi Penggunaan Nilai Konstanta Aspal Rencana Terhadap Nilai Stabilitas Pada Campuran Aspal Beton (Hrs-Wc) Terhadap Karakteristik Uji Marshall. *JUTEKS-Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 54. <https://doi.org/10.32511/juteks.v2i1.124>
- Simamora, S., Salundik, Wahyuni, S., dan S. (2006). Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak Dan Gas Dari Kotoran Ternak. Agromedia Pustaka.
- Sukirman, E., Adi, W. A., Winatapura, D. S., & Sulungbudi, G. T. (2003). Review Kegiatan Litbang Superkonduktor Tc Tinggi Di P3Ib-Batan. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 4(2).
- Suroso, T. W. (2008). Faktor-Faktor Penyebab Kerusakan Dini Pada Perkerasan Jalan. *Puslitbang Jalan Dan Jembatan*, 1, 2–3.
- Syafnidawaty. (2020). Penelitian Kuantitatif.