

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **2.1 *Selulosa***

##### **2.1.1 *Pengertian Serat Selulosa***

Selulosa merupakan konstituen utama kayu. Kira-kira 40-45% bahan kering dalam kebanyakan spesies kayu adalah selulosa (Eero Sjostrom, 1995). Selulosa terdapat pada semua tanaman dari pohon tingkat tinggi hingga organisme primitive seperti rumput laut, flagellate, dan bakteri (Fengel dan wegner, 1995).

Selulosa adalah polisakarida yang tersusun dari monomer D-glukosa yang mempunyai tiga gugus hidroksil yang dapat disubstitusi. Ditinjau strukturnya, dapat saja diharapkan selulosa mempunyai kelarutan yang besar dalam air, karena banyaknya kandungan gugus hydroksil yang dapat membentuk ikatan hydrogen dengan air (interaksi yang tinggi antara pelarut-terlarut (Widya : 2006).

Selulosa banyak ditemukan di alam, merupakan konstituen utama dari dinding sel tumbuh-tumbuhan dan rata-rata menduduki sekitar 50% dalam kayu tertentu. Selulosa juga menjadi konstituen utama dari berbagai serat alam yang terjadi sebagai rambut-rambut biji yang mengelilingi biji-bijian dari beberapa jenis tumbuhan misalnya kapas, sebagai kulit bagian dalam kayu yang berserat, batang, dan konstituen-konstituen berserat dari beberapa tangkai daun (serat-serat daun).

Molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan-ikatan hydrogen, baik dalam satu rantai polimer selulosa maupun antar rantai polimer yang berdampingan. Ikatan hydrogen

ini menyebabkan selulosa bisa terdapat dalam ukuran besar dan memiliki sifat kekuatan tarik tinggi (Azhari dan Dodi, 2010).

### **2.1.2 Sifat Selulosa**

Sifat selulosa terdiri dari sifat fisika dan sifat kimia. Selulosa dengan rantai panjang mempunyai sifat fisik yang lebih kuat, lebih tahan lama terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis. Sifat fisika dari selulosa yang penting adalah panjang, lebar dan tebal molekulnya.

Sifat fisik selulosa adalah :

- a. Dapat terdegradasi oleh hidrolisa, oksidasi, fotokimia maupun secara mekanis sehingga berat molekulnya menurun.
- b. Tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi sebagian larut dalam larutan alkali.
- c. Dalam keadaan kering, selulosa bersifat higroskopis, keras, dan rapuh. Bila selulosa cukup banyak mengandung air maka akan bersifat lunak. Jadi fungsi air disini sebagai pelunak.
- d. Selulosa dalam Kristal mempunyai kekuatan lebih baik jika dibandingkan dengan bentuk amorfnya. (Fengel dan Wenger, 1995).

### **2.2 Hot Roller Sheet (HRS)**

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (Bina Marga, Revisi 2010), lapis tipis aspal beton (lataston) adalah lapisan penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi senjang, filler dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan secara panas (dalam suhu tertentu, minimum

124<sup>0</sup>C), dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm. konstruksi perkerasan HRS dalam penggunaannya dibagi menjadi dua kelas, yaitu kelas A dan Kelas B.

Perbedaan kedua konstruksi tersebut terdapat pada gradasi agregat yang digunakan, beban lalu lintas dan segi pemakaian.

Pembuatan lapisan tipis beton (lataston) bertujuan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapisan antar pada pekerjaan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi bawahnya.

*Hot Roller Sheet (HRS)* bersifat lentur dan mempunyai durabilitas yang tinggi, hal ini disebabkan campuran HRS dengan gradasi timpang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap jumlah aspal dalam jumlah banyak tanpa terjadi *bleeding*. Selain itu, HRS mudah dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kedap terhadap air dan udara tinggi. Kegagalan sering terjadi yang sering terjadi di lapangan adalah pada proses penghamparan dan pemadatan karena HRS tidak sepenuhnya murni *gap gradet* (Bina Marga, 2010).

Dua hal yang mempengaruhi campuran lataston yaitu :

- a. gradasi benar-benar senjang. Gradasi senjang dapat diperoleh dengan mencampurkan pasir halus dengan agregat pecah mesin. Batas bahan yang bergradasi senjang pada lataston terletak antara bahan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) tetapi tertahan saringan No. 30 (0,600 mm), yang menggunakan suatu campuran agregat kasar dan agregat halus.

- b. Rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan oleh pedoman.(Bina Marga, 2010).

## 2.3 Karakteristik Marshall

### 2.3.1 Stabilitas

Stabilitas benda uji adalah daya tahan beban maksimum benda uji pada temperatur 60°C (140°F). Untuk mendapat stabilitas yang tinggi diperlukan agregat bergradasi baik, rapat, dan mempunyai rongga antar butiran agregat (VMA) yang kecil. Menurut Sukirman, S (1994) stabilitas juga merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, kebutuhan akan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi.

Adapun rumus stabilitas sebagai berikut :

$$S = q \times k \times H \times 0,454$$

Keterangan :

S = Stabilitas (kg)

q = Pembaca stabilitas alat (Fb)

k = faktor kalibrasi alat

H = koreksi tebal benda uji

0,454 = konversi satuan (lb) ke (kg)

### 2.3.2 Pelelehan (Flow)

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2010), flow adalah besarnya perubahan bentuk plastik suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dan dinyatakan dalam satuan panjang.

Menurut Roberts, F. L (1991), flow dalam terminology *Marshall Test* adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai pada kondisi kestabilan mulai menurun. Nilai flow dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kadar dan viskositas aspal, suhu, gradasi, dan jumlah pemadatan. Nilai flow yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan flow yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga tak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal, atau kandungan aspal yang terlalu rendah sehingga berpotensi retak dini dan durabilitas rendah.

### 2.3.3. Marshall Quotient

Menurut Bustaman (2000) menyatakan bahwa *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai *Marshall Quotient* yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras yang tinggi. Lapis keras yang mempunyai nilai *Marshall Quotient* terlalu tinggi akan mudah terjadi retakretak akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang. Sebaliknya nilai *Marshall Quotient* yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel (plastis) yang mengakibatkan lapis keras akan mudah berubah bentuk bila menahan beban

lalu lintas. Marshall Quotient (MQ) yaitu hasil bagi stabilitas dan flow, yang digunakan sebagai indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan. Nilai *Marshall Quotient* dinyatakan dalam kg/mm. (Hardiyatmo, H.C, 2007). Adapun nilai flow dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$MQ = \frac{S}{K}$$

Dengan keterangan :

MQ = *Marshall Quotient*

S = Stabilitas

K = Kelelehan (*flow*)

#### **2.4 Marshall Test**

Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelehan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flowmeter untuk mengukur kelelehan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76.

Secara garis besar pengujian Marshall meliputi: persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan flow, dan perhitungan sifat volumetric benda uji. Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Jumlah benda uji yang disiapkan.
2. Persiapan agregat yang akan digunakan.
3. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
4. Persiapan campuran aspal beton.
5. Pemadatan benda uji.
6. Persiapan untuk pengujian Marshall.

Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji Marshall tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar aspal yang digunakan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105-110°C. Setelah dikeringkan agregat dipisah-pisahkan sesuai fraksi ukurannya dengan mempergunakan saringan. Temperatur pencampuran bahan aspal dengan agregat adalah temperatur pada saat aspal mempunyai viskositas kinematis sebesar  $170 \pm 20$  centistokes, dan temperatur pemadatan adalah temperatur pada saat aspal mempunyai nilai viskositas kinematis sebesar  $280 \pm 30$  centistokes. Karena tidak diadakan pengujian viskositas kinematik aspal maka secara umum ditentukan suhu pencampuran berkisar antara 145 °C-155 °C, sedangkan suhu pemadatan antara 110 °C-135 °C.

Prinsip dasar dari metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang

terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran yang telah didapat dari hasil uji gradasi, sesuai spesifikasi campuran. Pengujian Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (flow) mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T245-90.

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (flow), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran tertentu, sesuai spesifikasi campuran. Metode Marshall dikembangkan untuk rancangan campuran aspal beton. Sebelum membuat briket campuran aspal beton maka perkiraan kadar aspal optimum dicari dengan menggunakan rumus pendekatan. Setelah menentukan proporsi dari masing-masing fraksi agregat yang tersedia, selanjutnya menentukan kadar aspal total dalam campuran. Kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antara agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat. Setelah diketahui estimasi kadar aspalnya maka dapat dibuat benda uji.

Untuk mendapatkan kadar aspal optimum umumnya dibuat 15 buah benda uji dengan 5 variasi kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5%. Sebelum dilakukan pengujian Marshall terhadap briket, maka dicari dulu berat jenisnya dan diukur ketebalan dan diameternya di tiga sisi yang berbeda. Melakukan uji Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (flow) benda uji mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 AASHTO T245-90. Parameter Marshall yang dihitung antara



lain: VIM, VMA, VFA, berat volume, dan parameter lain sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran. Setelah semua parameter briket didapat, maka digambar grafik hubungan kadar aspal dengan parameternya yang kemudian dapat ditentukan kadar aspal optimumnya. Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi Marshall test modifikasi. Modifikasi alat Marshall ini terletak pada alat pemegang benda uji. Kalau pada uji Marshall konvensional benda uji merupakan silinder dengan diameter 10 cm, maka pada alat Marshall modifikasi ini benda uji berupa balok yang terbuat dari campuran beton aspal. Seperti pada Gambar 3.5. alat ini berfungsi untuk mengukur ketahanan campuran beton aspal menahan beban lentur dengan cara "three point bending test". Dari tes ini sekaligus akan dapat diukur lendungan maksimum yang bisa ditahan, serta proses penjalaran retak sebelum benda uji mengalami keruntuhan.

## 2.5 Hasil Penelitian Terdahulu

Menghindari terjadinya duplikasi penelitian, maka perlu dilakukan perbandingan antara penelitian penulis dengan penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Jenis Campuran	Jenis Aspal	Filler	Additive	Pengujian
1	Anas Tahir (2011)	Kinerja Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> yang menggunakan serat selulosa	<i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i>	Pen 60/70	Serbuk Batu bata	Dedak Padi	<i>Marshall</i>

		alami dedak padi					
2	Rahaditya (2012)	Studi penggunaan serbuk batu bata merah sebagai filler pada perkerasan <i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)</i>	Pen 60/70	Serbuk Batu		<i>Marshall</i>
3	Nurkhayati Darunifah (2007)	Pengaruh Bahan Tambahan karet padat terhadap karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)</i>	Pen 60/70	Karet padat	Karet padat	<i>Marshall</i>
4	Maneges Purno Negoro	Pengaruh Bahan Ganti Campuran Aspal Menggunakan Karet Ban Bekas Terhadap Karakteristik Aspal Menggunakan Metode Uji Marshall	<i>HRA</i>	Pen 60/70	Karet padat	Karet padat	<i>Marshall</i>
5	Rahmawati (2013)	Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Polipropilena Sebagai Pengganti	<i>AC-WC</i>	Pen 60/70	Limbah Plastik	Limbah Plastik	<i>Marshall</i>

		Agregat Pada Campuran Laston Terhadap Karakteristik Marshall					
6	Setiyawan (2013)	Kinerja Penambahan Serat <i>Polypropylene</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i> Menggunakan Bahan Pengikat <i>Shell</i> 60/70 Dengan Kadar Aspal 6,75%	AC-WC	Aspal <i>Shell</i>	Limbah Plastik	Limbah Plastik	<i>Marshall</i>
7	Hadijah Amrulloh (2016)	Pengaruh Tambahan Serat <i>Polypropylene</i> Terhadap Campuran Aspal Beton AC- WC	AC-WC	Aspal <i>Shell</i> Pen 60/70	Limbah Plastik	Limbah Plastik	<i>Marshall</i>
8	Kadri	Penggunaan Batu Riam Desa Gunung Karasik Kabupaten Barito Timur Sebagai Agregat Pada Campuran Laston Lapis Pondasi	HRS-Base	Aspal <i>Shell</i> Pen 60/70	Batu Riam	Batu Riam	<i>Marshall</i>
9	Nugraha (2010)	Penggunaan Batu Desa Pepas Kabupaten Barito Utara sebagai	HRS-Base	Pen 60/70	Batu Pecah	Batu Pecah	<i>Marshall</i>

		Agregat pada Campuran <i>HRS-Base</i>					
10	Yurentan (2008)	Analisis Penggunaan Batu Putih Dari Kecamatan Kurun Kabupaten Gunung Mas Sebagai Agregat Pada Campuran <i>Hot Rolled Sheet-Base</i>	HRS-Base	Pen 60/70	Batu Putih	Batu Putih	<i>Marshall</i>
11	Andi Syaiful Amal	Pemanfaatan Getah Karet pada Aspal 60/70 terhadap stabilitas Marshall pada <i>Asphalt Treated Base (ATB)</i>	ATB	Pen 60/70	Getah Karet	Getah Karet	<i>Marshall</i>
12	Agus Faisal	Pengembangan proses Degradasi Karet Alam menggunakan Lindi hitam sebagai bahan tambah Aspal Termodifikasi	ATB	Pen 60/70	Getah Karet	Getah Karet	<i>Marshall</i>
13	Mirka Pataras (2017)	Pemanfaatan Karet Mentah Pada Flexible Pavement Laston AC-WC Dan Laston <i>HRS-WC</i>	AC-WC HRS-WC	Pen 60.70	Karet Mentah	Karet Mentah	<i>Marshall</i>

14	Cut Yuslingga Cahya (2018)	Karakteristik Penggunaan Abu Serbuk Kayu Sebagai Substitusi Filler Campuran Lataston Lapis Aus	HRS-WC	Pen 60/70	Abu Serbuk Kayu	Abu Serbuk Kayu	<i>Marshall, AASHTO</i>
15	Sabaruddin (2011)	Pemanfaatan Abu Serbuk Kayu Sebagai Material Pengisi Campuran Lataston Tipe B	HRS-WC	Pen 60.70	Abu Serbuk Kayu	Abu Serbuk Kayu	<i>Marshall</i>
16	Nugroho Utomo (2011)	Pemanfaatan Tempurun Sebagai Material Pengisi pada campuran Perkerasan Jalan	HRS-WC	Pen 60/70	Serbuk arang Tempurun Kelapa	Serbuk arang Tempurun Kelapa	<i>Marshall</i>
17	Riza Millatul Aminin (2020)	Karakteristik Marshall Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> dengan penambahan Selulosa Serat Kapuk	SMA	Pen 60/70	Serat Kapuk	Serat kapuk	<i>Marshall</i>
18	Nikmatul Azizah (2017)	Kinerja Campuran <i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)</i> Dengan Filler Abu Ampas Tebu	HRS-WC	Pen 60/70	Abu Ampas Tebu	Abu Ampas Tebu	<i>Marshall</i>

19	Sarkis Enda Raya S (2015),	Variasi Temperatur Pencampuran Terhadap Parameter <i>Marshall</i> pada Campuran Lapis Aspal Beton	AC-WC	Pen 60/70	Batu Pecah	Abu Debu Batu Kapur	<i>Marshall</i>
20	Sri Nurul Jauhari (2013)	Karakteristik <i>Marshall Test</i> Pada Campuran Aspal Berongga Menggunakan Batu Karang Dan <i>Buton Natural Asphalt (BNA)</i>	BNA	Pen 60/70	Batu Pecah		<i>Marshall</i>

## 2.6 Posisi Penelitian

Posisi penelitian yang akan dilakukan penulis dengan penelitian terdahulu adalah sebagai berikut :

1. Tahir (2011) membahas tentang penggunaan dedak padi sebagai bahan tambah pada campuran SMA dengan melakukan pengujian *Marshall*. Berbeda dengan pengujian yang akan dilakukan oleh penulis, menggunakan serat selulosa sebagai campuran HRS
2. Rahaditya (2012) melakukan studi penggunaan serbuk batu bata merah sebagai filler pada perkerasan HRS-WC. Penelitian yang akan dilakukan sama-sama menggunakan filler serbuk batu bata namun jenis campuran menggunakan serat selulosa.

3. Nurkhayati Darunifah (2007),,, melakukan penelitian penambahan karet padat bahan vulkanisir sebesar 2% serta untuk variasi kadar aspal 7,1. Penelitian tersebut sama-sama menggunakan teknologi *Hot Roller Sheet* (HRS) namun penelitian yang akan penulis lakukan menggunakan bahan tambahan serat selulosa. Benda uji dibuat dengan menggunakan campuran kadar aspal optimum 6,6%, 7,1%, 7,6% dan 8,1% serta ditambahkan variasi kandungan karet pada masing-masing kadar aspal 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%.
4. Maneges Purno Negoro, Hasil Penelitian mendapat hasil terbaik pada kadar ban bekas 3 % (dari 6 variasi sampel) dengan nilai VIM 5,849%, VMA 18,18%, VFA 74,86%, stabilitas rerata 1041,33 kg, kelelahan (flow) 3,245 mm, dan nilai rerata *Marshall Quotient* (MQ) 321,1 kg/mm.
5. Rahmawati (2013), Menggunakan tiga persentase kadar aspal, yakni 5%, 6% dan 7% dan kadar PP yang digunakan adalah 0%, 2%, 5% dan 10%.
6. Setiyawan (2013), Menggunakan presentase kadar serat PP yaitu 0,1%, 0,2%, 0,3% dan 0,5% dengan kadar aspal optimum 6,75%.
7. Hadijah dan Amrulloh (2016), Penambahan campuran serat PP ke dalam *aspal Shell Pen 60/70* (As-Pp) dengan komposisi penambahan campuran sebesar 0% (tanpa bahan tambahan), 1%, 2% dan 3% dari kadar aspal. Didapat KAO sebesar 5,6%, 5,8% dan 6,2%.
8. Kadri, Dari penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa semua campuran baik itu komposisi A, komposisi B, dan komposisi C tidak diperoleh kadar aspal optimum

9. Nugraha (2010), dari penelitian yang dilakukan peneliti menyimpulkan bahwa komposisi A dan komposisi C memenuhi spesifikasi laston lapis pondasi pada kadar aspal 7,5% dalam nilai rongga dalam campuran (VIM). Dan juga untuk nilai rongga terisi aspal (VFB) komposisi A dan komposisi C memenuhi spesifikasi laston lapis pondasi pada kadar aspal 7,5% sedangkan komposisi B tidak memenuhi nilai rongga (VIM) dan VFB).
10. Yurentan (2008), pondasi. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar aspal maka nilai flow, dan nilai rongga terisi aspal
11. Andi Syaiful Amal, menyimpulkan bahwa Kadar Aspal Optimum pada campuran normal sebesar 6,25 % dan untuk penambahan karet diambil 5%, 10% dan 15% untuk campuran ATB.
12. Agus Faisal, menyimpulkan Hasil pengujian pada aspal campuran normal nilai kadar aspal optimum (KAO) yang didapat adalah sebesar 7,3%, kemudian pengujian pada aspal campuran karet mentah menggunakan nilai dari KAO normal untuk penambahan karet 5%, 10% dan 15% ke dalam benda uji pada pengujian *Marshall*.
13. Mirka Pataras (2017) Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa pada campuran aspal menggunakan bahan karet 5% memiliki nilai stabilitas (2449,32 kg) dan flow (4,00 mm) paling tinggi diantara campuran aspal yang lain.
14. Cut Yuslingga Cahya (2018), dari hasil penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa Abu Kayu kurang optimal apabila murni menggunakan abu serbuk kayu



15. Sabaruddin (2011), hasil penelitian menunjukkan bahwa Abu Serbuk kayu dapat digunakan sebagai bahan material pengisi campuran laston, tetapi kalau penggunaan terlalu banyak mempunyai kadar aspal optimum yang lebih rendah.
16. Nugroho Utomo (2011), menyimpulkan dari hasil penelitian bahwa campuran aspal dengan menggunakan bahan pengisi (filler) serbuk arang tempurung kelapa memiliki nilai stabilitas optimal sebesar 1444,74 kg pada waktu perendaman 1 jam dan semakin menurun pada waktu perendaman 2 jam sebesar 1098,91 kg, 12 jam sebesar 1039,60 kg, 24 jam sebesar 946,56 kg dan, 48 jam sebesar 910,49 kg
17. Riza Millatul Aminin (2020), hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat kapuk terhadap campuran SMA dapat meningkatkan karakteristik kinerja *Marshall* dibandingkan dengan campuran tanpa penambahan serat kapuk.
18. Nikmatul Azizah (2017), Kinerja campuran HRS-WC filler abu ampas tebu berdasarkan pengujian dengan alat *Marshall* yaitu, (1)KAO campuran sebesar 7,25%; (2) stabilitas campuran meningkat dan kemudian turun kembali menunjukkan campuran memiliki kekuatan untuk menahan beban lalu lintas pada ka dar aspal tertentu sehingga lebih elastis; (3) nilai flow mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar aspal mengakibatkan campuran memiliki kelenturanyang tinggi sehingga tahan pada retakan;(4) nilai MQ yang semakin rendah seiring penurunan nilai stabilitas dan peningkatan nilai *flow* membuat campuran lebih plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk; (5)nilai VIM yang semakin rendah mengakibatkan campuran mudah mengalami deformasi plastis akibat beban yang berulang; (6)nilai VMA yang

turun hingga pada kadar aspal tertentu kemudian naik kembali menunjukkan penambahan kadar aspal akan menebalkan selimut aspal dan memperbesar jarak antar agregat sehingga menurunkan stabilitas; dan (7) nilai VFB yang semakin meningkat mengakibatkan aspal mudah mengalami bleeding.

19. Sarkis Enda Raya S (2015), Hasil penelitian menunjukkan variasi suhu pencampuran pada campuran laston AC-WC gradasi halus batas bawah dengan kadar aspal 6,8% tidak mendapatkan hasil yang maksimal . Dimana suhu pencampuran antara 120°C-160°C tidak ada yang memenuhi parameter marshall yang disyarat spesifikasi Bina Marga 2010.
20. Sri Nurul Jauhari (2013), hasil penelitian menunjukkan Kadar optimum *Buton Natural Asphalt Blend Pertamina* yang diperoleh dari hasil analisis cantabro, porositas, permeabilitas, stabilitas marshall, flow, *marshall quotient* didapatkan nilai kadar optimum *Buton Natural Asphalt blend Pertamina* yaitu sebesar 4,5%.

Perbedaan mendasar antara penelitian yang penulis lakukan dengan penelitian terdahulu terletak pada metode yang digunakan. Selain itu juga pada jenis bahan serat selulosa yang digunakan sebagai bahan campuran.