

**KAJIAN PARAMETER MARSHALL DENGAN MENGGUNAKAN
LIMBAH SERBUK KULIT KERANG HIJAU SEBAGAI *FILLER*
CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON**



ANDHIKA PUTRA

5415107570

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK BANGUNAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

LEMBAR PENGESAHAN

Nama Dosen

Tanda Tangan

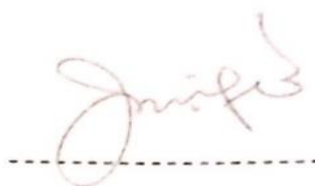
Tanggal

Ir. Tri Mulyono, MT
(Dosen Pembimbing Materi)



14/2/17

Yusfita Chrisnawati, S. Pd. T. M. Sc
(Dosen Pembimbing Metodologi)



13/02/17

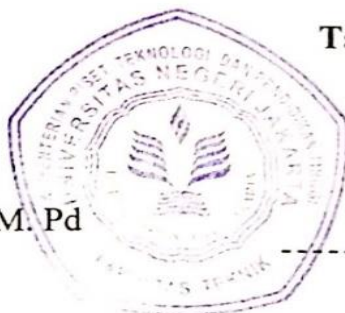
PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Nama Dosen

Tanda Tangan

Tanggal

R. Eka Murtinugraha, M. Pd
(Ketua Penguji)



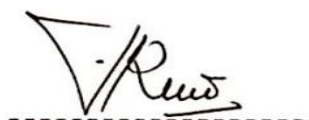

16/02 - 2017

Winoto Hadi, MT
(Penguji I)



19/2/2017

Dra. Daryati, MT
(Penguji II)



16-2-2017.

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, November 2016
Yang membuat pernyataan



Andhika Putra
5415107570

ABSTRAK

Andhika Putra. **Kajian Parameter Marshall Dengan Menggunakan Limbah Serbuk Kulit Kerang Hijau Sebagai *Filler* Campuran Lapis Aspal Beton.** Skripsi, Jakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, November 2016.

Penelitian ini menggunakan limbah serbuk kulit kerang hijau sebagai pengganti bahan pengisi (*filler*) campuran Laston. Laston (Lapis Aspal Beton) merupakan suatu lapisan konstruksi jalan terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengganti sebagian serbuk kulit kerang hijau terhadap bahan pengisi dapat memenuhi parameter *marshall*.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang menguji parameter *marshall* pada 4 (empat) variasi kadar *filler* persentase serbuk kulit kerang hijau sebesar 0%, 6,5%, 7,5%, dan 8,5% sebagai pengganti sebagian bahan pengisi.

Hasil pengujian serbuk kulit kerang hijau menghasilkan kadar *filler* optimum sebesar 7,5% dengan nilai stabilitas 987,478 kg, nilai kelelahan (*Flow*) 3,70 mm, nilai *Marshall Quotient* (MQ) 266,738 kg/mm, nilai *Void in Mineral Aggregates* (VMA) 17,597%, nilai *Void Filled with Bitumen* (VFB) 71,958%, dan nilai *Void In the Mix* (VIM) 4,709%. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat dinyatakan bahwa serbuk kulit kerang hijau dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC) untuk lalu-lintas berat dengan kadar *filler* 7,5%.

Kata kunci : Limbah Serbuk Kulit Kerang Hijau, Lapis Aspal Beton, Parameter Marshall, *Filler*

ABSTRACT

Andhika Putra. The Inquiry of Marshall Parameter Using Powder from Waste of Green Mussels Shell As A Filler in Concrete Asphalt Mix. Minithesis, Jakarta: Civil Engineering, Faculty of Engineering, State University of Jakarta, November 2016.

Powder from Waste of Green Mussels Shell is used in this inquiry as an alternate filler in Laston mix. Laston or layer of concrete asphalt is a layer of road construction consists of asphalt cement mix and aggregates that have a continuous gradation, mixed, outspread and compacted at a certain temperature. This inquiry aims to investigate whether the use of green mussels shell powder as an alternate filler in Laston mix can meet the Marshall parameter or not.

Method used in this inquiry is experimental method that examines Marshall parameter at various percentages of green mussels shell powder use in which their level are 0%, 6,5%, 7,5% and 8,5%, as an alternate of half of filler.

The experiment of green mussels shell powder is generate a maximum level of filler at 7,5% percentage with stability value in 987,478 kgs, flow value in 3,70 mm, Marshall Quotient value in 266,738 kgs/mm, Void in Mineral Aggregates value in 17,597%, Void Filled with Bitumen value in 71,958% and Void In the Mix value in 4,709%. By this result, it can be concluded that green mussels shell powder can be used as an alternate filler in AC-WC asphalt mix for heavy traffic road with 7,5% percentage of filler level.

Keywords: *Green Mussels Shell Powder, Concrete Asphalt Mix, Marshall Parameter, Filler*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena izin dan kehendaknya penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul "Kajian Parameter *Marshall* dengan Bubuk Cangkang Kerang Darah sebagai Pengganti Sebagian *Filler* dalam Campuran Lapis Aspal Beton *Wearing course*". Skripsi merupakan salah satu syarat kelulusan akademik di dalam jenjang Program S1 Pendidikan Teknik Sipil Universitas Negeri Jakarta. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penulisan Skripsi ini antara lain berdasarkan penelitian eksperimen di Laboratorium dan data yang diperoleh dari hasil penelitian serta tanya jawab langsung dengan dosen pembimbing Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta dan teknisi di Laboratorium Jalan Balai Irigasi.

Dalam proses penyelesaian Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. ALLAH S.W.T yang telah memberikan rahmat-Nya dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Orang tua tercinta dan saudara kandung penulis, yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil.
3. R. Eka Murti Nugraha, M.Pd. selaku Ketua Program Studi S1 Pendidikan Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil FT UNJ dan Koordinator Penyelesaian Studi Prodi Jurusan Teknik Sipil FT UNJ.
4. Ir. Tri Mulyono, MT. selaku Dosen Pembimbing Materi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, sumbangan pikiran, saran dan referensi sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
5. Yusfita Chrisnawati, S.Pd. T. M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Metodologi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, sumbangan pikiran dan saran sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
6. Bapak Bejo dan Bapak Wawan selaku penyelia dan teknisi di Laboratorium Jalan Balai Irigasi yang telah membantu dalam seluruh kegiatan di laboratorium sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
7. Teman-teman S1 Pendidikan Teknik Bangunan angkatan 2010 khususnya kelas Non Reguler yang tidak dapat disebutkan satu per satu karena keterbatasan tempat penulisan.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi tercapainya penelitian serupa pada masa yang akan datang. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil bagi yang membacanya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Jakarta, November 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	I
HALAMAN PERNYATAAN.....	II
ABSTRAK	III
ABSTRACT	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR TABEL	IX
DAFTAR GAMBAR.....	X
DAFTAR LAMPIRAN.....	X

BAB I

PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	7
1.3 Pembatasan Masalah	8
1.4 Rumusan Masalah	8
1.5 Tujuan Penelitian.....	9
1.6 Manfaat Penelitian.....	9

BAB II

KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS	11
2.1 Kerangka Teori	11
2.1.1 Jalan.....	11
2.1.1.1 Perkerasan Lentur	12
2.1.1.2 Aspal Beton	14
2.1.1.3 Lapisan Permukaan.....	17
2.1.1.4 Pembagian Jalan Perkerasan Aspal Beton Campuran Panas	17
2.1.2 Lapis Aspal Beton (LASTON).....	18
2.1.3 Aspal	19
2.1.4 Agregat	21
2.1.4.1 Gradasi.....	22
2.1.4.2 Agregat Kasar	24
2.1.4.3 Agregat Halus	25
2.1.4.4 Bahan Pengisi (<i>filler</i>).....	25
2.1.5 Limbah Serbuk Kulit Kerang Hijau	27
2.1.5.1 Pengertian	27
2.1.5.2 Komposisi Unsur Kimia pada Kulit Kerang.....	28
2.1.6 Metode <i>Marshall</i>	29
2.1.6.1 Stabilitas	29
2.1.6.2 Kelelehan (Flow)	30
2.1.6.3 Densitas.....	30
2.1.6.4 Marshall Quotient	31
2.1.6.5 Rongga Terisi Aspal (VFB).....	31

2.1.6.6 Rongga Dalam Campuran (Void in The Mix)	32
2.1.6.7 Rongga Antara Mineral Agregat (VMA)	32
2.2 Penelitian Relevan.....	33
2.3 Kerangka Berpikir	35
2.4 Hipotesis.....	36

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN	38
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.2 Metode Penelitian.....	38
3.3 Rancangan penelitian	39
3.4 Pengambilan Sampel	40
3.4.1 Populasi.	40
3.4.2 Sampel... ..	40
3.5 Prosedur Penelitian.....	40
3.5.1 Tahap Persiapan.....	41
3.5.1.1 Peralatan	41
3.5.1.2 Bahan	43
3.5.2 Pemeriksaan Bahan.....	43
3.5.3 Perencanaan Campuran	45
3.5.4 Pembuatan Benda Uji	45
3.5.5 Pengujian Benda Uji.....	47
3.5.5.1 Persiapan Pengujian.....	48
3.5.5.2 Cara Pengujian.....	48
3.6 Teknik Pengambilan Data.....	49
3.7 Teknik Analisis Data.....	50

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Deskripsi Uji Pendahuluan	51
4.1.1 Pengujian Aspal.....	51
4.1.2 Pengujian Agregat Kasar	51
4.1.3 Pengujian Agregat Halus	52
4.1.4 Pengujian <i>Filler</i>	52
4.2 Pembuatan Benda Uji.....	53
4.2.1 Perencanaan Campuran.....	53
4.2.2 Pencampuran Benda Uji.....	54
4.3 Deskripsi Hasil Pengujian <i>Marshall</i>	55
4.3.1 Stabilitas	56
4.3.2 Kelelehan (<i>Flow</i>)	57
4.3.3 <i>Marshall Quotient</i> (MQ)	58
4.3.4 Rongga Dalam Agregat (VMA)	59
4.3.5 Rongga Terisi Aspal (VFB).....	60
4.3.6 Rongga Dalam Campuran (VIM).....	61
4.4 Hasil Pengujian <i>Marshall</i>	62
4.5 Pengujian Prasyarat Analisis.....	63
4.6 Pengujian Hipotesis	67

4.7 Keterbatasan Penelitian	68
 BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71
 DAFTAR PUSTAKA	 73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Aspal Keras	20
Tabel 2.2 Ukuran Butir Agregat.....	23
Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar	24
Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus	25
Tabel 2.5 Persyaratan Gradasi <i>Filler</i>	26
Tabel 3.1 Sampel Uji Marshall	40
Tabel 3.2 Persyaratan Bahan.....	44
Tabel 3.3 Kekentalan Aspal Keras Untuk Pencampuran dan Pemadatan.....	46
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal	51
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	52
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Halus	52
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Bahan Pengisi	53
Tabel 4.5 Analisa Saringan <i>Filler</i> Sebuk Kulit Kerang Hijau	53
Tabel 4.6 Proposi Bahan Campuran	53
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Parameter <i>Marshall</i>	62
Tabel 4.8 Uji Normalitas Stabilitas.....	63
Tabel 4.9 Uji Normalitas <i>Flow</i>	64
Tabel 4.10 Uji Normalitas MQ	64
Tabel 4.11 Uji Normalitas VMA	65
Tabel 4.12 Uji Normalitas VFB	66
Tabel 4.13 Uji Normalitas VIM	66
Tabel 4.14 Uji <i>Mann-Whitney U</i>	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Jalan	14
Gambar 3.1 Rancangan Penelitian	39
Gambar 4.1 Persiapan Pembuatan Benda Uji	54
Gambar 4.2 Pengadukan Benda Uji	55
Gambar 4.3 Pemadatan Benda Uji	55
Gambar 4.4 Grafik Stabilitas & Kadar <i>Filler</i>	56
Gambar 4.5 Grafik Flow & Kadar <i>Filler</i>	57
Gambar 4.6 Grafik MQ & Kadar <i>Filler</i>	58
Gambar 4.7 Grafik VMA & Kadar <i>Filler</i>	59
Gambar 4.8 Grafik VFB & Kadar <i>Filler</i>	60
Gambar 4.9 Grafik VIM & Kadar <i>Filler</i>	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian.....	74
Lampiran 2 Surat Balasan Penelitian	23
Lampiran 3 Pengujian Aspal Berat Jenis	24
Lampiran 4 Pengujian Aspal Daktilitas	25
Lampiran 5 Pengujian Aspal Penetrasi	26
Lampiran 6 Pengujian Aspal Titik Nyala dan Titik Bakar	40
Lampiran 7 Pengujian Aspal Titik Lembek	44
Lampiran 8 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	46
Lampiran 9 Pengujian Keausan Agregat Kasar	51
Lampiran 10 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	52
Lampiran 11 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	52
Lampiran 12 Pengujian Berat Jenis Filler	53
Lampiran 13 Analisa Saringan Agregat	53
Lampiran 14 Perencanaan Cara Analitis	53
Lampiran 15 Uji Kimia Serbuk Kulit Kerang Hijau	62
Lampiran 16 Analisis Uji Kimia Serbuk Kulit Kerang Hijau	63
Lampiran 17 Dokumentasi Penelitian	640

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia mengenal dua jenis konstruksi lapisan perkerasan jalan yaitu perkerasan kaku yang dibuat dari beton semen dan perkerasan lentur yang dibuat dari campuran aspal dan agregat. Perkerasan lentur ada yang bersifat non struktural seperti Burtu, Burda, Latasir, Buras, Latasbum, dan HRS-WC dan struktural seperti Lapen, Lasbutag, Laston (Lapisan Aspal Beton).

Laston yang direncanakan di Indonesia setara dengan spesifikasi laston Bina Marga. Digunakan untuk jalan-jalan dengan lalu lintas berat, tanjakan, pertemuan jalan dan daerah-daerah lainnya dimana permukaan menanggung beban roda yang berat. Lapis aspal beton diperuntukan untuk kelas lalulintas berat dapat ditinjau dari ketentuan parameter *marshall* menurut bina marga tahun 2010 dan penetrasi aspal yang dipakai. Metode *Marshall* berprinsip pada pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Aspal dengan penetrasi rendah dipakai untuk daerah yang memiliki cuaca panas atau volume lalu-lintas tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dingin atau volume lalu-lintas rendah (Departemen Permukiman, 2013). Di Indonesia umumnya digunakan aspal penetrasi 60/70 dan 80/100.

Laston itu sendiri memiliki beberapa lapisan yaitu lapis aus (*wearing course*), lapis perat (*binder course*) dan lapis pondasi (*base course*). Kerusakan

jalan biasanya terjadi pada lapisan aus aspal beton, karena lapis aus itu sendiri merupakan lapisan yang paling atas dan langsung terkena gesekan akibat beban roda.

Laston adalah suatu lapisan permukaan yang terdiri dari campuran laston keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas atau suhu tertentu. Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet tipe kerusakan yang biasanya terjadi adalah retak dan terlepasnya butiran. Laston yang direncanakan di Indonesia setara dengan spesifikasi Laston Bina Marga (Spesifikasi Bina Marga 13 / PT/B/1983) dan digunakan untuk jalan-jalan dengan lalu lintas berat, tanjakan, pertemuan jalan serta daerah-daerah lainnya dimana permukaan menanggung beban roda yang berat. Lapis aspal beton diperuntukan untuk kelas lalu lintas berat dapat ditinjau dari ketentuan parameter *Marshall* menurut Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya (SNI 03-1737-1989) dan penetrasi aspal yang dipakai. Aspal dengan penetrasi rendah dipakai untuk daerah yang memiliki cuaca panas atau volume lalu-lintas tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dingin atau volume lalu-lintas rendah.

Filler adalah suatu mineral agregat dari fraksi halus yang merupakan bahan non-plastis dan non-organik. Pada campuran laston, *filler* berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dalam campuran sehingga meningkatkan kepadatan dan ketahanan campuran serta meningkatkan stabilitas campuran.

Pada prakteknya fungsi dari *filler* adalah untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Menurut (Yuniarto & Sentosa, 2006) meningkatkan komposisi *filler* dalam campuran dapat

meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar air sekaligus rongga udara dalam campuran. Komposisi *filler* dalam campuran tetap dibatasi, karena terlalu tinggi kadar *filler* dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi getas (*brittle*) dan akan retak (*crack*) ketika menerima beban lalu lintas. Sehingga terlalu rendah kadar *filler* akan mengakibatkan campuran akan terlalu lunak pada saat cuaca panas.

Peran *filler* terhadap kinerja mekanik dalam campuran aspal beton dengan menggabungkan granit, kapur, dan kaolin sebagai bahan pengisi untuk tiga lapisan permukaan, dengan mengevaluasi parameter *Marshall* menggunakan kadar aspal optimum menunjukkan bahwa penggunaan bahan pengisi/*filler* dalam campuran aspal-beton mempengaruhi kinerja campuran dalam tiga cara: (1) *filler* mempengaruhi jumlah kadar aspal, (2) *filler* mempengaruhi kemampuan kerja selama pencampuran dan pemadatan, dan (3) sifat yang dihasilkan dari aspal-*filler* mastic (kuning-muda) berkontribusi terhadap kinerja campuran itu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat-sifat *filler* menentukan interaksi dengan aspal dan berkontribusi terhadap kinerja campuran aspal (Zulkati, Diew, & Delai, 2012).

Alternatif campuran-beraspal (Laston) yang dapat diterapkan sehingga mampu mengatasi dan mengurangi kerusakan-kerusakan akibat melemahnya daya ikat aspal terhadap butiran agregat dan *filler*, baik karena suhu, cuaca, mutu aspal dan agregat, maupun metode pelaksanaan dilapangan. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan mengganti bahan dasar *filler* alternatif yang memiliki fungsi sama dengan kualitas yang lebih baik. Penggunaan fly ash (abu terbang) sebagai *filler* (Ichwanto, 2011) dari penelitiannya menyebutkan bahwa

dengan bertambahnya kadar fly ash maka nilai stabilitas dan nilai *Marshall Quotient* campuran aspal akan semakin tinggi dengan penggunaan kapur dan gabungan keduanya (Ali, 2006). Penggunaan *filler* semen dan abu batu dengan mengkaji sifat *Marshall* dalam campuran AC-WC dengan kadar aspal rencana yang digunakan baik pada campuran dengan filler semen portland maupun abu batu adalah 5,5% terhadap total campuran, menunjukkan bahwa semen menghasilkan nilai stabilitas dan durabilitas lebih baik dari pada abu batu (Putrowijoyo, 2006).

Alternatif penggunaan *filler* untuk campuran aspal seperti debu batu kapur, debu dolomite, semen portland, bubuk terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Sedangkan banyak jenis *filler* seperti debu batu kapur merupakan pilihan utama untuk *filler* namun sulit didapatkan dan dapat mengganggu kesehatan pernapasan sedangkan semen portland mudah diperoleh dan mempunyai grading butiran yang bagus namun demikian harganya sangat mahal. Karena itu untuk mengatasi masalah ini perlu dicari alternatif pengganti, salah satu alternatif yang mungkin adalah limbah kulit kerang hijau yang berbentuk abu. Limbah kulit kerang hijau ini diperoleh dari budidaya kerang hijau di Cilincing.

Kerang hijau (*Perna Viridis*) merupakan jenis kerang yang populer di Indonesia. Kelimpahan kerang hijau di Indonesia menurut Direktorat Jendral Perikanan Tangkap Indonesia (2012) yaitu 3.353 ton. Kerang hijau memiliki beberapa kegunaan, salah satunya adalah diolah sebagai makanan, sehingga cangkang kerang hijau yang merupakan bahan sisa produksi makanan dapat menimbulkan limbah yang cukup banyak. Limbah cangkang kerang hijau hanya

dimanfaatkan untuk menimbun areal di sekitar pabrik (*landfill*), penjernih air, bahan obat-obatan, dan kerajinan tangan.

Kerang hijau cukup populer dimasyarakat sebagai bahan makanan dan telah dibudidayakan sebagai usaha penduduk di daerah pesisir laut. Cara membudidayakannya pun cukup mudah, tidak memerlukan modal besar dan dapat dipanen setelah berusia 6-7 bulan. Hasil panen pertahun pun cukup menjanjikan bisa mencapai 200-300 ton kerang utuh atau sekitar 60-100 ton daging kerang. Masyarakat pesisir biasanya membentuk kelompok usaha mikro untuk membudidayakannya dan menjualnya ke pasar-pasar tradisional.

Selama ini masyarakat hanya mengambil daging kerang hijau sebagai lauk dan membuang kulitnya begitu saja, padahal sampah kulit kerang memiliki banyak sekali manfaat. Cangkang/kulit kerang hijau bisa dimanfaatkan sebagai bahan obat-obatan, penjernih air, dan kerajinan tangan. Manfaat lainnya adalah jika kulit kerang hijau ini diolah dengan cara yang benar maka bisa digunakan sebagai alternatif bahan bangunan.

Pemanfaatan limbah serbuk kerang yang pernah dilakukan dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian fraksi agregat halus pada campuran aspal dengan kadar sebesar 5-20% dari berat agregat halus dalam campuran. Penggunaan cangkang kerang laut ini dimaksudkan untuk memperoleh suatu campuran yang memiliki nilai kestabilan dan kekuatan yang baik sehingga bahan tersebut dapat dijadikan bahan pengganti alternatif agregat halus. Hasil analisis pengujian Marshall (Bahri & Ali, 2005) diketahui bahwa pergantian fraksi agregat halus dengan cangkang kerang memberikan karakteristik kekuatan Marshall masih berada di atas ambang yang disyaratkan oleh *British Standard 594* (1985).

Nilai terbesar 2,055.14 kg pada kadar cangkang 5% dan nilai terkecil 1,095.29 kg pada kadar cangkang 10%. Nilai density tertinggi 2,49 kg/cc pada kadar 10% dan terendah 2,13 kg/cc pada kadar 15%. Nilai density masih diatas ambang batas 2 gr/cc seperti yang disyaratkan AASHTO. Durabilitas campuran aspal menggunakan cangkang kerang sebagai pengganti sebagian agregat halus sampai dengan 20persen memberikan nilai 76,79%, masih di atas batas minimum disyaratkan (>75%).

Hasil analisa saringan abu kulit kerang hijau yang dilakukan di balai irigasi mencapai 96,7% yang lolos saringan no.200. Dapat dilihat bahwa abu kulit kerang hijau dapat memenuhi standar nasional untuk filler campuran aspal beton. Dari perhitungan mencari persentase kadar unsur kimia dari penelitian di lab *fire engineering* kulit kerang hijau memiliki 97,90 % CaO, 1% SiO₂ dan 1,10% NaO₂. Dapat dilihat kandungan kalsium oksida cukup tinggi dalam kulit kerang hijau. Kalsium oksida merupakan bahan yang dapat meningkatkan proses pengerasan dan menyerap karbon dioksida dalam udara. Kalsium oksida juga merupakan bahan utama pada debu batu kapur dan debu kapur padam dan semen yang merupakan beberapa bahan yang bisa dijadikan *filler* sehingga dengan terdapatnya kandungan kalsium oksida dalam kulit kerang hijau menjadikan material ini dapat digunakan sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran aspal beton.

Terdapat penelitian terdahulu tentang penggunaan limbah bubuk cangkang kerang darah yang telah dilakukan oleh (Shafari, 2015) yang berjudul kajian parameter *marshall* dengan bubuk cangkang kerang darah sebagai pengganti sebagian *filler* dalam campuran lapis aspal beton wearing course menggunakan *filler* dengan persentase 5%, 7,5%, dan 10%. Hasil nilai optimum pada persentase

7,5% namun menurun pada persentase 10% penggunaan bubuk cangkang kerang darah. Dalam penelitian ini akan menggunakan persentase 6,5%, 7,5%, dan 8,5% dengan asumsi apakah reaksi penggunaan serbuk kulit kerang hijau sama dengan penggunaan bubuk cangkang kerang darah pada campuran lapis aspal beton.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah diantaranya:

1. Apakah serbuk kulit kerang hijau dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) untuk campuran perkerasan lapis aspal beton?
2. Apakah pemanfaatan limbah serbuk kerang hijau efektif meningkatkan nilai parameter *Marshall* yang sesuai dengan standar perkerasan jalan?
3. Berapa persen kadar aspal yang optimal untuk bahan pengisi (*filler*) limbah serbuk kerang hijau pada pengujian parameter *Marshall*?
4. Apakah parameter *Marshall* pada perkerasan lapis aspal beton yang menggunakan campuran pengganti sebagian *filler* dari limbah serbuk kulit kerang hijau dengan variasi 6,5%, 7,5%, 8,5% dari berat *filler* dapat terpenuhi?
5. Apakah hasil pengujian parameter *Marshall* yang menggunakan campuran limbah serbuk kulit kerang hijau sebagai *filler* dapat memenuhi standar perkerasan jalan untuk Laston?

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka diambil suatu batasan masalah sebagai berikut :

1. Jenis perkerasan yang digunakan adalah jenis permukaan struktural dari perkerasan lentur yaitu Lapis Aspal Beton.
2. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina penetrasi 80 yang tersedia di laboratorium balai irigasi Bekasi.
3. *Filler* yang digunakan adalah limbah serbuk kulit kerang hijau dan *filler* semen PC.
4. Pengujian dilakukan dengan *Marshall Test*, meliputi : Stabilitas, kelelehan, *VFB*, *VMA*, *VIM*, kepadatan dan *Marshall Quotient* berdasarkan Peraturan Menteri tahun 2007 tentang spesifikasi campuran aspal panas terbitan Dinas Pekerjaan Umum.
5. Limbah serbuk kulit kerang hijau yang digunakan diperoleh dari budidaya kerang hijau yang berlokasi di wilayah Cilincing, Jakarta Utara.
6. Serbuk kulit kerang hijau didapatkan dengan cara dioven pada suhu 670° C dan dihaluskan menggunakan *Disk Mill*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan hal tersebut diatas maka rumusan masalah penelitian ini adalah: Apakah limbah serbuk kulit kerang hijau sebagai bahan pengganti sebagian filler dengan variasi 6,5%, 7,5%, 8,5% dapat menghasilkan parameter marshall yang memenuhi spesifikasi standar lapis permukaan aus untuk Laston?

Sehingga penelitian ini diberi judul : “Kajian Parameter Marshall Dengan Menggunakan Limbah Serbuk Kulit Kerang Hijau Sebagai Filler Campuran Lapis Aspal Beton”.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui apakah limbah serbuk kulit kerang hijau secara umum dapat digunakan sebagai bahan pengisi *filler* untuk perkerasan lapis aspal beton.
2. Mendapatkan dan menjelaskan parameter *Marshall* hasil uji campuran dengan substitusi sebagian *filler* menggunakan variasi 6,5%, 7,5%, 8,5% dari berat *filler* untuk perkerasan lapis aspal beton.
3. Menjelaskan hasil pengujian parameter *Marshall* yang menggunakan campuran limbah serbuk kulit kerang hijau sebagai *filler* apakah dapat memenuhi standar perkerasan jalan untuk Laston.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan pengetahuan bahan alternatif lain yaitu limbah serbuk kulit kerang hijau yang dapat digunakan sebagai material bahan campuran dalam pembuatan perkerasan lapis aspal beton.
2. Memberikan alternatif bahan pengisi *filler* yang ekonomis dan mudah didapat pada perkerasan lapis aspal beton.

3. Menjadi bahan pengetahuan bagi mahasiswa khususnya di Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Jakarta mengenai manfaat penggunaan limbah kulit kerang hijau.

BAB II

KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS

PENELITIAN

2.1 Kerangka Teori

2.1.1 Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu-lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 , p. Pasal 1 butir 3).

Sebagai negara hukum Indonesia memiliki dasar hukum (Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006) berisi tentang ketentuan umum, jalan umum, bagian-bagian jalan dan pemanfaatannya, izin, rekomendasi dan dispensasi, wewenang, penyelenggaraan jalan, dokumen jalan, peran masyarakat, jalan khusus, ketentuan peralihan dan terakhir ketentuan penutup.

Jalan perlu diberi perkerasan agar lebih kuat, perkerasan jalan adalah lapisan struktur jalan yang terletak di atas badan jalan, berfungsi menerima beban lalu-lintas dan meneruskannya ke badan jalan pada segala kondisi cuaca (Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah, 2013). Perkerasan jalan dapat terbuat dari campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu-lintas. Agregat yang dipakai dapat berupa batu pecah, batu

belah, atau batu kali dan bahan ikat yang dipakai dapat berupa aspal (aspal beton), dan *portland cement*.

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan raya dapat dibedakan menjadi tiga macam (Sukirman, 1999) :

1. Perkerasan lentur, yaitu lapis keras yang menggunakan aspal sebagai bahan ikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu-lintas ke tanah dasar.
2. Perkerasan kaku, yaitu lapis keras yang menggunakan semen pc sebagai bahan ikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu-lintas diterima oleh pelat beton.
3. Perkerasan komposit, yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

2.1.1.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur sebagai lapisan yang bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu-lintas haruslah memenuhi syarat berikut (Sukirman, 1999) :

1. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban ke tanah dasar.
2. Kedap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
3. Permukaan yang mudah mengalirkan air sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.

4. Kekakuan untuk memikul beban tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Menurut (Sukirman, 1999) Perkerasan lentur terdiri dari lapisan–lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan–lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu–lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Konstruksi perkerasan terdiri dari :

1. Lapisan permukaan (*surface course*)

Lapisan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapis penahan beban roda, lapisan kedap air, lapis aus (*wearing course*) dan lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah.

2. Lapisan pondasi atas (*base course*)

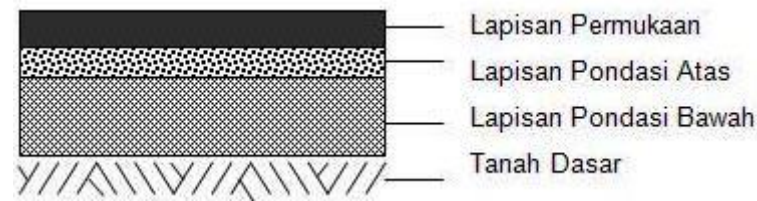
Lapisan yang terletak diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan, berfungsi sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya, sebagai lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah, dan untuk bantalan terhadap lapis permukaan.

3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

Merupakan lapisan diantara lapis pondasi atas dan tanah dasar, berfungsi sebagai penyebar beban roda ke tanah dasar, untuk efisiensi penggunaan material, sebagai lapis persapan, lapisan pencegah partikel-partikel halus dari tanah dan sebagai lapisan pertama di atas tanah dasar.

4. Lapisan tanah dasar (*sub grade*)

Merupakan lapisan tanah setebal 50-100 cm dimana bagian atasnya diletakkan lapisan pondasi bawah.



Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Jalan

2.1.1.2 Aspal Beton

Aspal beton merupakan salah satu dari lapisan perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal hingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan dulu sebelum dicampur. Karena di campur dalam keadaan panas maka seringkali disebut sebagai “hotmix” (Sukirman, 1999).

Aspal beton dapat digunakan untuk lapisan aus (*wearing course*), perata (*leveling course*) dan pondasi (*base course*). Lapis aus merupakan lapis perkerasan jalan paling atas, yang menerima dampak langsung dari lalu-lintas. Lapis perata berada di bawah lapis aus, dan di bawah lapis perata merupakan lapis pondasi. Lapisan-lapisan ini harus cukup kuat, stabil dan tetap ditempat meskipun ada goncangan-goncangan dari lalu-lintas. Lapisan aus harus tahan lama dari dampak lalu-lintas maupun cuaca. Lapis permukaan harus cukup halus agar ban mobil atau kendaraan yang lewat tidak cepat rusak, tergelincir dan cukup nyaman bagi penumpangnya. Lapisan aus merupakan agregat yang lebih halus dengan kadar aspal lebih tinggi dari lapisan lainnya.

Untuk aspal beton yang baik, sangat ditentukan oleh kepadatan dari agregatnya (jumlah berat dalam volume). Kepadatan tergantung dari jenis dan gradasi agregat, sehingga disarankan untuk tidak menggunakan batu bulat dengan ukuran yang sama karena akan banyak membentuk rongga-rongga kosong. Disarankan menggunakan batu yang dipecah menjadi debu dan butir-butir batu persegi yang tidak sama bentuknya sehingga rongga-rongga kosong akan terisi oleh batu pecah yang lebih halus.

Kekuatan dan kepadatan agregat menentukan kestabilan perkerasan untuk menahan beban lalu-lintas, tanpa ada perubahan/pergeseran susunan permukaan lapis perkerasan. Penggunaan batu pecah akan menambah kestabilan karena pergeseran antara dua bidang batu pecah, dan juga akan memberi permukaan lebih luas untuk penyalutan aspal. Kadar aspal dalam campuran juga mempengaruhi kestabilan lapisan, karena apabila aspalnya terlalu sedikit maka ikatan agregat satu sama lain menjadi kurang kuat. Sebaliknya apabila aspalnya terlalu banyak maka ikatan butir satu sama lain akan menjadi licin, sehingga saling mendorong dan mengakibatkan lepas. Aspal cement harus mempunyai daya ikat terhadap agregat yang tahan lama untuk kestabilan perkerasan jalan. Aspal semen harus bersifat luwes (tidak mudah retak) apabila digunakan sebagai perkerasan, dibandingkan dengan agregat yang kurang dapat menyesuaikan diri terhadap dampak dari beban lalu-lintas dan cuaca.

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah (Sukirman, 1999) :

1. Stabilitas

Yaitu kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu-lintas yanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.

2. Durabilitas

Merupakan kemampuan menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.

3. Fleksibilitas

Merupakan kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu-lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

4. Tahanan geser (*skid resistance*)

Adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun di waktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan.

5. Ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*)

Merupakan ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (ruting) dan retak.

6. Kemudahan pelaksanaan (*workability*)

Adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

2.1.1.3 Lapisan Permukaan

Lapisan permukaan adalah bagian perkerasan jalan yang paling atas. Lapisan tersebut berfungsi sebagai berikut (Sukirman, 1999) :

1. Lapis perkerasan penahan beban roda, yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan roda selama masa pelayanan.
2. Lapisan kedap air, agar air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Lapis aus (*wearing course*) yaitu lapisan ulang yang langsung terkena gesekan akibat roda kendaraan.
4. Lapis-lapis yang menyebabkan beban ke lapisan di bawahnya sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dengan gaya dukung yang lebih buruk.

2.1.1.4 Pembagian Jalan Perkerasan Aspal Beton Campuran Panas

Menurut Permen PU 2007, jenis campuran beraspal terbagi menjadi latasir, lataston, dan laston.

- a. Latasir (Lapis Tipis Aspal Pasir / *sand sheet*) kelas A dan kelas B

Latasir adalah lapis penutup permukaan jalan yang terdiri atas agregat halus atau pasir atau campuran keduanya dan aspal keras yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Pemilihan kelas A atau kelas B terutama tergantung pada gradasi pasir yang digunakan.

- b. Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton / HRS)

Lataston adalah lapis permukaan yang terdiri atas lapis aus (lataston lapis aus / *HRS-WC*) dan lapis permukaan antara (lataston lapis permukaan antara /

HRS-Binder) yang terbuat dari agregat yang bergradasi senjang dengan dominasi pasir dan aspal keras yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperature tertentu.

c. Laston (Lapis aspal Beton)

Laston adalah lapis permukaan atau lapis pondasi yang terdiri atas beton lapis aus (AC-WC), laston lapis permukaan antara (AC-BC), dan laston lapis pondasi (AC-Base).

2.1.2 Lapis Aspal Beton (LASTON)

Laston merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu (Sukirman, 1999).

Menurut Petunjuk Pelaksanaan LASTON Untuk Jalan Raya SKBI 2.3.26.1987 dikutip dari SNI No. 1737 Tahun 1989 laston adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

Menurut SNI No. 1737 Tahun 1989 Lapis aspal Beton (Laston) mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Tahan terhadap keausan dan kerusakan akibat lalu lintas.
- b. Kedap air.
- c. Mempunyai nilai struktural (jadi dalam perhitungan diperhitungkan tebal lapisannya).
- d. Mempunyai stabilitas yang tinggi.

- e. Peka terhadap penyimpangan dan pelaksanaan.

Adapun fungsi dari Lapis aspal Beton (Laston) antara lain:

- a. Sebagai pendukung beban lalu lintas.
- b. Sebagai pelindung konstruksi dibawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca (lapisan kedap air).
- c. Sebagai bahan lapisan aus.
- d. Menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin.

Bahan-bahan pembentuk Lapis Aspal Beton (Laston) terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*), dan aspal keras atau aspal minyak sebagai pengikat. Penggunaan bahan sebagai agregat harus terlebih dahulu diperiksa dan diteliti mutu dan gradasinya.

2.1.3 Aspal

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) aspal adalah campuran hidrokarbon alam yang amorf, berwarna cokelat hitam dan berupa zat padat atau setengah padat yang dihasilkan dari minyak bumi dengan suhu pembakaran tinggi.

Aspal sering juga disebut dengan istilah bitumen, karena aspal yang didefinisikan material berwarna hitam atau coklat tua itu mengandung hidrokarbon. Menurut (Sukirman, 1999), aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat, dan bersifat termoplastis, aspal akan mecair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperaur turun, bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Aspal diperoleh dari proses destilasi minyak tanah mentah dan terdiri dari tiga macam, yaitu aspal keras/panas yang digunakan dalam keadaan cair dan panas yang berbentuk padat pada temperatur ruang, aspal cair yang digunakan dalam keadaan cair pada temperatur ruang, dan aspal emulsi yang merupakan hasil pencampuran aspal keras, air dan bahan pengemulsi.

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan laston berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume campuran.

Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas, volume lalu lintas tinggi. Sebaliknya aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin, lalu lintas rendah. Aspal yang biasa digunakan di Indonesia untuk campuran laston dapat berupa aspal keras pen 60 atau pen 80 yang harus memenuhi persyaratan sebagaimana tertera dalam tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Persyaratan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Persyaratan				Satuan
		Pen 60		Pen 80		
		min	max	min	max	
Penetrasi (25°C, 5 detik)	PA.0301-76	60	79	80	99	0,1 mm
Titik Lembek (ring&ball)	PA.0302-76	48	58	46	54	°C

Titik Nyala (clev, open cup)	PA.0303-76	200	-	225	-	°C
Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	PA.0304-76	-	0,8	-	0,1	% berat
Kelarutan (C ₂ atau HCL ₃)	PA.0305-76	99	-	99	-	% berat
Daktilitas (25°C, 5 cm / menit)	PA.0306-76	100	-	100	-	Cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	PA.0301-76	54	-	50	-	% awal
Daktilitas setelah kehilangan berat	PA.0306-76	50	-	75	-	Cm
Berat jenis (25°C)	PA.0307-76	1	-	1	-	Gr/cc

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983)

2.1.4 Agregat

Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya dalam hal ini pada perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang digunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan (Depkimpraswil).

Berdasarkan proses pengolahannya, agregat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Agregat alam, yaitu agregat yang dapat dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan. Dua bentuk agregat alam yang sering dipergunakan adalah kerikil dan pasir.
2. Agregat buatan, yaitu agregat yang harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu dengan mesin pecah agar partikel yang dihasilkan dapat terkontrol.

Berdasarkan besar partikel-partikel agregat, agregat dapat dibedakan menjadi :

1. Agregat kasar, agregat $> 2,36$ mm menurut ASTM.
2. Agregat halus, agregat $< 2,36$ mm menurut ASTM.
3. Abu batu/mineral *filler*, agregat yang umumnya lolos saringan No.200.

Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan sehingga harus memenuhi persyaratan yang ditentukan. Sifat-sifat tersebut yaitu gradasi, kadar lempung, berat jenis dan penyerapan.

2.1.4.1 Gradasi

Gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butir agregat. Gradasi agregat berpengaruh pada besarnya rongga dalam campuran dan menentukan *workability* (kemudahan dalam pekerjaan) serta stabilitas campuran.

Gradasi agregat ditentukan dengan cara analisa saringan, dimana sampel agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawat dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi persegi dari saringan tersebut.

Ukuran butir agregat menurut AASHTO T27-88 atau SNI 03-1968-2002 disajikan pada tabel 1 di bawah:

Tabel 2.2 Ukuran Butir Agregat

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inci	100,00	3/8 inci	9,5
$3 \frac{1}{2}$ inci	90,00	No. 4	4,75
3 inci	75,00	No. 8	2,36
$2 \frac{1}{2}$ inci	63,00	No. 16	1,18
2 inci	50,00	No. 30	0,6
$1 \frac{1}{2}$ inci	37,50	No. 50	0,3
1 inci	25,00	No. 100	0,15
$\frac{3}{4}$ inci	19,00	No. 200	0,075
$\frac{1}{2}$ inci	12,50		

Sumber: SNI 03-1737-1989, Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya

Analisis saringan dapat dilakukan dengan cara basah atau kering. Analisis basah dilakukan untuk menentukan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200, mengikuti manual SNI-M-02-1994-03 atau AASHTO T27-88. Pemeriksaan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200, dengan menggunakan saringan basah dapat dilanjutkan dengan mengeringkan benda uji dan selanjutnya melakukan pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar (Sukirman, 1999).

2.1.4.2 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan di atas saringan nomor 8 (2,36mm), menurut saringan ASTM. Fraksi agregat kasar pada pengujian harus terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah yang berukuran normal. Agregat kasar ini menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai *skid resistance* (tahanan terhadap selip) yang tinggi sehingga lebih menjamin keamanan para pengemudi kendaraan di jalan raya. Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran (*particle shape*) yang bulat memudahkan proses pemadatan, tetapi rendah stabilitasnya. Sedangkan yang berbentuk menyudut (*angular*) sulit dipadatkan tetapi punya stabilitas yang tinggi (Sukirman, 1999).

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks. 12%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2417-1991	Maks. 40%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	95/90(*)
Partikel Pipih dan Lonjong (**)	(RSNI T-01-2005)	Maks. 10 %
Material lolos Saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1 %

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007

Catatan:

(*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

(**) Pengujian dengan perbandingan lengan alat uji terhadap poros 1 : 5.

2.1.4.3 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat hasil pemecah batu yang mempunyai sifat lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah untuk stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan karena keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah *angularity* (bentuk menyudut) dan *particle surface roughness* (kekasaran permukaan butiran). Di bawah ini adalah tabel persyaratan agregat menurut Departemen Pekerjaan Umum, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis Beton Aspal (Sukirman, 1999).

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50 %
Material Lolos Saringan No.200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8 %
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007

2.1.4.4 Bahan Pengisi (*filler*)

Mineral *filler* adalah suatu mineral agregat dari fraksi halus yang sebagian besar (± 65 %) lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) (SNI 03-1737-1989). Dalam campuran aspal panas material filler bersama-sama dengan aspal membentuk mortar dan berperan sebagai pengisi rongga sehingga meningkatkan stabilitas campuran.

Pada praktiknya fungsi dari filler adalah untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Peningkatan komposisi filler dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar air void (rongga udara) dalam campuran. Meskipun demikian komposisi filler dalam campuran tetap dibatasi, karena terlalu tinggi kadar filler dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi getas (*brittle*) dan akan retak (*crack*) ketika menerima beban lalu lintas. Akan tetapi terlalu rendah kadar *filler* akan mengakibatkan campuran akan terlalu lunak pada saat cuaca panas. Material yang sering digunakan sebagai *filler* adalah semen portland (PC), batu kapur, dan serbuk batu dari *stone crusher*. Akan tetapi bahan-bahan tersebut terkadang sulit didapat dan terkadang harganya relatif mahal. Untuk itu para ahli material perkerasan mencoba inovasi-inovasi baru untuk menggunakan bahan-bahan lain yang bisa digunakan sebagai *filler*.

Spesifikasi standar *filler* untuk campuran perkerasan lentur jalan raya (SNI 03-1737-1989) adalah sebagai berikut :

1. Bahan pengisi harus terdiri dari serbuk batu, serbuk batu kapur, kapur padam, semen (PC) atau bahan non-plastis lainnya.
2. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan, dan apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan harus memenuhi gradasi sebagai ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Persyaratan Gradasi *Filler*

No.	Ukuran Saringan	Persentase Lolos
1.	No. 30 (0,590 mm)	100

2.	No. 50 (0,279 mm)	95 – 100
3.	No. 100 (0,149 mm)	90 – 100
4.	No. 200 (0,074 mm)	65 – 100

Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007

2.1.5 Limbah Serbuk Kulit Kerang Hijau

2.1.5.1 Pengertian

Kerang Hijau atau dikenal dimasyarakat dengan nama kijing, adalah binatang lunak yang hidup di pesisir laut, bercangkang dua dan berwarna hijau. Kerang hijau merupakan organisme yang termasuk kelas Pelecypoda. Golongan biota yang bertubuh lunak (mollusca). Kerang hijau termasuk Hewan dari kelas pelecipoda, kelas ini selalu mempunyai cangkang katup sepasang maka disebut sebagai Bivalvia. Hewan kelas ini pun berinsang berlapis-lapis sering disebut Lamelli branchiata.

Kerang hijau cukup populer dimasyarakat sebagai bahan makanan dan telah dibudidayakan sebagai usaha penduduk di daerah pesisir laut. cara membudidayakannya pun cukup mudah, tidak memerlukan modal besar dan dapat dipanen setelah berusia 6-7 bulan. Hasil panen pertahun pun cukup menjanjikan bisa mencapai 200-300 ton kerang utuh atau sekitar 60-100 ton daging kerang. Masyarakat pesisir biasanya membentuk kelompok usaha mikro untuk membudidayakannya dan menjualnya ke pasar-pasar tradisional.

Selama ini masyarakat hanya mengambil daging kerang hijau sebagai lauk dan membuang kulitnya begitu saja, padahal sampah kulit kerang memiliki banyak sekali manfaat. Cangkang/kulit kerang hijau bisa dimanfaatkan sebagai

bahan obat-obatan, penjernih air, dan kerajinan tangan. Manfaat lainnya adalah jika cangkang kerang hijau ini diolah dengan cara yang benar maka bisa digunakan sebagai alternatif bahan bangunan.

Kulit kerang terlebih dahulu dibersihkan dengan dicuci kemudian disikat sampai daging yang menempel hilang. Lalu kerang yang sudah dicuci dijemur dibawah sinar matahari hingga kering dan tidak berbau. Setelah itu dioven dengan suhu 670°C untuk memudahkan proses penghalusan. Kemudian dihaluskan dengan mesin *disk mill* dan diayak melewati ayakan 0,075mm (No.200) untuk dijadikan serbuk sehingga dapat dibuat butiran yang relatif sama dengan ukuran butiran *filler*.

Hasil analisa saringan serbuk kulit kerang hijau yang dilakukan di balai irigasi mencapai 96,7% yang lolos saringan no.200. Dapat dilihat bahwa abu kulit kerang hijau dapat memenuhi standar nasional untuk filler campuran aspal beton.

2.1.5.2 Komposisi Unsur Kimia pada Kulit Kerang

Hasil analisa terhadap komposisi kimia dari serbuk kerang didominasi zat kapur (CaO) dan Silika (SiO_2). Komposisi kimia dapat dilihat di lampiran. Dari hasil pemeriksaan komposisi bahan kimia didapatkan bahwa serbuk kerang mengandung zat kapur (CaO) yang cukup besar yaitu 97,9%. Dari perhitungan mencari persentase kadar unsur kimia dari penelitian di lab *fire engineering* kulit kerang hijau memiliki 97,90 % CaO , 1% SiO_2 dan 1,10% NaO_2 . Dapat dilihat kandungan kalsium oksida cukup tinggi dalam kulit kerang hijau. Kalsium oksida merupakan bahan yang dapat meningkatkan proses pengerasan saat semen berhidrasi dengan aspal dan menyerap karbon dioksida dalam udara. Kalsium

oksida juga merupakan bahan utama pada debu batu kapur dan debu kapur padam yang merupakan salah satu bahan yang bisa dijadikan *filler* sehingga dengan terdapatnya kandungan kalsium oksida dalam kulit kerang hijau menjadikan material ini dapat digunakan sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran aspal beton.

2.1.6 Metode Marshall

Metode pengujian *Marshall* merupakan metode yang paling umum dipergunakan dan distandarisasikan dalam Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya (SNI 03-1737-1989). Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi (ASTM D 1559-76) (AASHTO T245-90). Prinsip dasar metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan keelehan (*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 keelehan plastis atau *flow*.

Karakteristik campuran panas agregat aspal dapat diukur dari sifat-sifat *Marshall* yang ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut:

2.1.6.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram. Kebutuhan akan

stabilitas sebanding dengan jumlah lalu-lintas dan beban kendaraan yang akan lewat. Akan tetapi stabilitas yang terlalu tinggi mengakibatkan lapisan menjadi kaku dan cepat mengalami retak, selain itu karena volume rongga antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah sehingga ikatan aspal dengan agregat mudah lepas dan durabilitasnya rendah.

Nilai stabilitas benda uji didapat dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall*.

2.1.6.2 Kelelehan (Flow)

Kelelehan adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan muai menurun. Nilai *flow* menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan dan besarnya dapat langsung dibaca pada arloji *flow* saat pengujian *Marshall* dengan satuan mm.

2.1.6.3 Densitas

Densitas atau kepadatan adalah berat campuran yang diukur tiap satuan volume, nilai densitas dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kadar aspal dan kekentalan aspal campuran dengan densitas yang tinggi mempunyai kemampuan menahan beban lalu-lintas yang lebih baik, serta memiliki kedapapan yang tinggi terhadap air dan udara. Nilai densitas dapat dihitung dengan rumus dibawah ini:

$$\text{Densitas} = \frac{\text{Berat benda uji}}{\text{Volume benda uji}}$$

2.1.6.4 Marshall Quotient

Marshall quotient merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelehan dan dipakai sebagai pendekatan tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai MQ besar menunjukkan kekakuan lapis perkerasan tinggi dan berakibat mudah retak-retak, sebaliknya nilai MQ kecil menunjukkan terlalu plastis yang berakibat perkerasan mengalami deformasi yang besar bila menerima beban lalu-lintas.

$$MQ = \frac{o}{p}$$

Keterangan :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

o = Nilai Stabilitas (kg)

p = Nilai kelelehan plastis / *flow* (mm)

2.1.6.5 Rongga Terisi Aspal (VFB)

VFB adalah persen ruang diantara partikel agregat (VMA) yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat, dinyatakan dalam persen terhadap VMA. VFB dihitung dengan rumus sebagai berikut (RSNI T-01-2005):

$$VFB = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA}$$

Keterangan :

VFB = Rongga terisi aspal, persen terhadap VMA.

VMA = Rongga diantara mineral agregat.

VIM = Rongga dalam campuran.

2.1.6.6 Rongga Dalam Campuran (Void in The Mix)

VIM merupakan ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran. VIM dihitung dengan rumus seperti di bawah ini (RSNI M-06-2004):

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Keterangan :

VIM = Kadar rongga dalam campuran. (%)

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat. (gr/cc)

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran. (gr/cc)

2.1.6.7 Rongga Antara Mineral Agregat (VMA)

VMA adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran. VMA dihitung dengan rumus seperti di bawah ini (RSNI M-06-2004):

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} \times Ps}{G_{sb}}$$

Keterangan :

VMA = Kadar rongga antara mineral agregat. (%)

G_{mb} = Berat Jenis curah campuran padat. (gr/cc)

G_{sb} = Berat jenis curah agregat. (gr/cc)

Ps = Persen agregat terhadap berat total campuran. (%)

2.2 Penelitian Relevan

Banyak penelitian yang pernah dilakukan yang dapat dijadikan acuan atau literatur untuk penyusunan skripsi / penelitian ini, diantaranya adalah :

1. “Kajian Parameter Marshall Dengan Bubuk Cangkang Kerang Darah Sebagai Pengganti Sebagian Filler Dalam Campuran Lapis Aspal Beton Wearing Course” (Shafari, 2015). Pada penelitian ini digunakan limbah *filler* bubuk cangkang kerang darah dengan kadar variasi 5%, 7,5%, 10%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai persentase bubuk cangkang kerang darah optimum sebesar 7,5% berdasarkan nilai hubungan stabilitas, *flow*, VMA dan VIM, karena membentuk kecenderungan positif dengan seiring kenaikan persentase dari 0% sampai 7,5% namun menurun pada persentase 10% bubuk cangkang kerang. Serta sebaliknya akan menurunkan nilai VFB dan MQ dipersentase 5% dan 7,5% dan mulai meningkat pada persentase 10%.
2. “Penggunaan Abu Kulit Kerang Hijau Sebagai Substitusi Sebagian Volume Semen Pada Batako Berlubang” (Maulana, 2015). Pada penelitian ini digunakan limbah abu kulit kerang hijau sebagai substitusi sebagian semen dengan kadar variasi 0%, 5%, 7,5%, 10%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa daya serap batako dengan substitusi abu kulit kerang hijau 5% sebagai nilai daya serap optimum, sedangkan untuk hasil uji nilai kuat tekan batako dengan substitusi abu kulit kerang hijau 7,5% sebagai nilai kuat tekan optimum. Semakin besar proporsi abu kulit kerang hijau akan berbanding terbalik dengan nilai daya serap batako. Sedangkan semakin besar proporsi abu kulit kerang hijau akan berbanding lurus dengan nilai

kuat tekannya, dengan syarat proporsi tidak melebihi 7,5%, sehingga bila dicampurkan dalam proporsi terlalu besar akan menurunkan nilai kuat tekan batako itu.

3. “Pengaruh Penggantian Sebagian *Filler* Semen dengan Kombinasi 40% Serbuk Batu Bata dan 60% Abu Cangkang Lokan pada Campuran *Asphalt Concrete Binder course* (AC-BC)” (Esentia, 2014). Penelitian ini mengkombinasikan 2 limbah dengan komposisi 60% Bubuk cangkang lokan dan 40% bubuk batu bata sebagai pengganti *filler* semen Portland dengan penggunaan persentase filler sebesar 6%, 71,2% agregat kasar, 22,8% agregat halus. Persentase yang diambil dari penelitian ini berupa 100:0, 50:50 dan 0:100. Hasil pengujian karakteristik *Marshall* dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas semakin meningkat seiring dengan pergantian *filler* dan stabilitas terbaik dihasilkan oleh komposisi *filler* 0:100 (yang mengandung kapur dan silika yang tinggi) sebesar 926,545 kg dan kerapatan rongga campuran (VIM) yang kecil sebesar 3,226%. Nilai VIM yang kecil mengindikasikan tingkat kerapatan suatu campuran AC-BC sedangkan semakin besar nilai stabilitas menunjukkan tingkat kekuatan campuran AC-BC terhadap kemampuan menerima beban.
4. “Kinerja Campuran Aspal Lataston HRS Base Dengan Variasi Bahan *Filler* dengan Menggunakan Metode *Marshall*” (Putra, Dewi, & Pataras, 2013). Penelitian ini membandingkan penggunaan bubuk ampas tebu, bubuk cangkang kerang, semen, dan bubuk batubara menggunakan variasi *filler* pada rentang kadar aspal 6,5%, 7%, 7,5%, 8%, 8,5%. Pengujian dengan metode *Marshall* didapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi

Bina Marga. Pada aspal campuran *filler* cangkang kerang nilai kadar aspal optimum (KAO) yang didapat adalah sebesar 7,85%.

2.3 Kerangka Berpikir

Bahan umum perkerasan jalan adalah agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal. Seluruh bahan penyusun laston mempunyai sifat dan fungsinya masing-masing. Serbuk kulit kerang hijau merupakan bahan alternatif yang tepat sebagai pengganti *filler* pada lapis aspal beton. Limbah kulit kerang yang berlimpah yang sebelumnya hanya dimanfaatkan sebagai cinderamata dan sebagai bahan obat-obatan. Manfaat lainnya adalah jika kulit kerang hijau ini diolah dengan cara yang benar maka bisa digunakan sebagai alternatif bahan bangunan. Pemeriksaan pendahuluan terhadap serbuk kulit kerang hijau seperti pengujian berat jenis yang mendapatkan nilai 2,69 dari persyaratan minimum 2,5 dan juga gradasi analisa saringan yang mencapai 96,7% bubuk yang lolos pada saringan no.200 dari persyaratan minimum 75% yang lolos dari saringan no. 200. Jika ditinjau dari pemeriksaan uji pendahuluan terhadap serbuk kulit kerang hijau seperti pengujian berat jenis serta gradasi analisa saringan, maka pemanfaatan serbuk kulit kerang hijau sebagai *filler* untuk campuran lapis aspal beton merupakan salah satu solusi, dan dinilai lebih ekonomis karena kulit kerang hijau didapat dari bahan yang sudah tidak terpakai atau dapat dikatakan limbah daripada menggunakan semen portland yang harganya cukup mahal atau debu batu kapur yang sulit didapat.

Hasil penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa serbuk kulit kerang dengan variasi pada rentang 6,5% – 8,5% dapat menghasilkan nilai parameter *Marshall* yang masih dapat memenuhi kriteria, bahkan untuk kadar 6%

pada penelitian Pengaruh Penggantian Sebagian *Filler* Semen dengan Kombinasi 40% Serbuk Batu Bata dan 60% Abu Cangkang Lokan pada Campuran *Asphalt Concrete Binder course* (AC-BC) menunjukkan bahwa hasil uji parameter *Marshall* dapat diterima.

Berdasarkan uraian di atas maka dapat diduga bahwa penggunaan campuran aspal dengan substitusi sebagian filler dengan variasi 6,5% – 8,5% menggunakan kulit kerang akan menghasilkan nilai parameter Marshall yang memenuhi standar.

2.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka berpikir tersebut dapat diduga bahwa penggunaan serbuk kulit kerang hijau akan meningkatkan parameter *Marshall* yang berarti dapat dijadikan bahan alternatif *filler* yang digunakan untuk lapis perkerasan aspal beton. Dalam penelitian ini hipotesis hanya diberikan dari deskripsi data dan grafik. Atau dinyatakan dalam hipotesis statistik.

$$H_0: \mu A = \mu B$$

$$H_1: \mu A > \mu B$$

Keterangan :

μA = Hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan *filler* limbah serbuk kulit kerang hijau

μB = Hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan *filler* semen (aspal konvensional)

Kriteria pengujian hipotesis adalah : menerima H_0 yang menyatakan tidak ada perbedaan antara hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan *filler* limbah serbuk kulit kerang hijau dengan hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan *filler* semen (aspal konvensional) ($\mu A = \mu B$).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

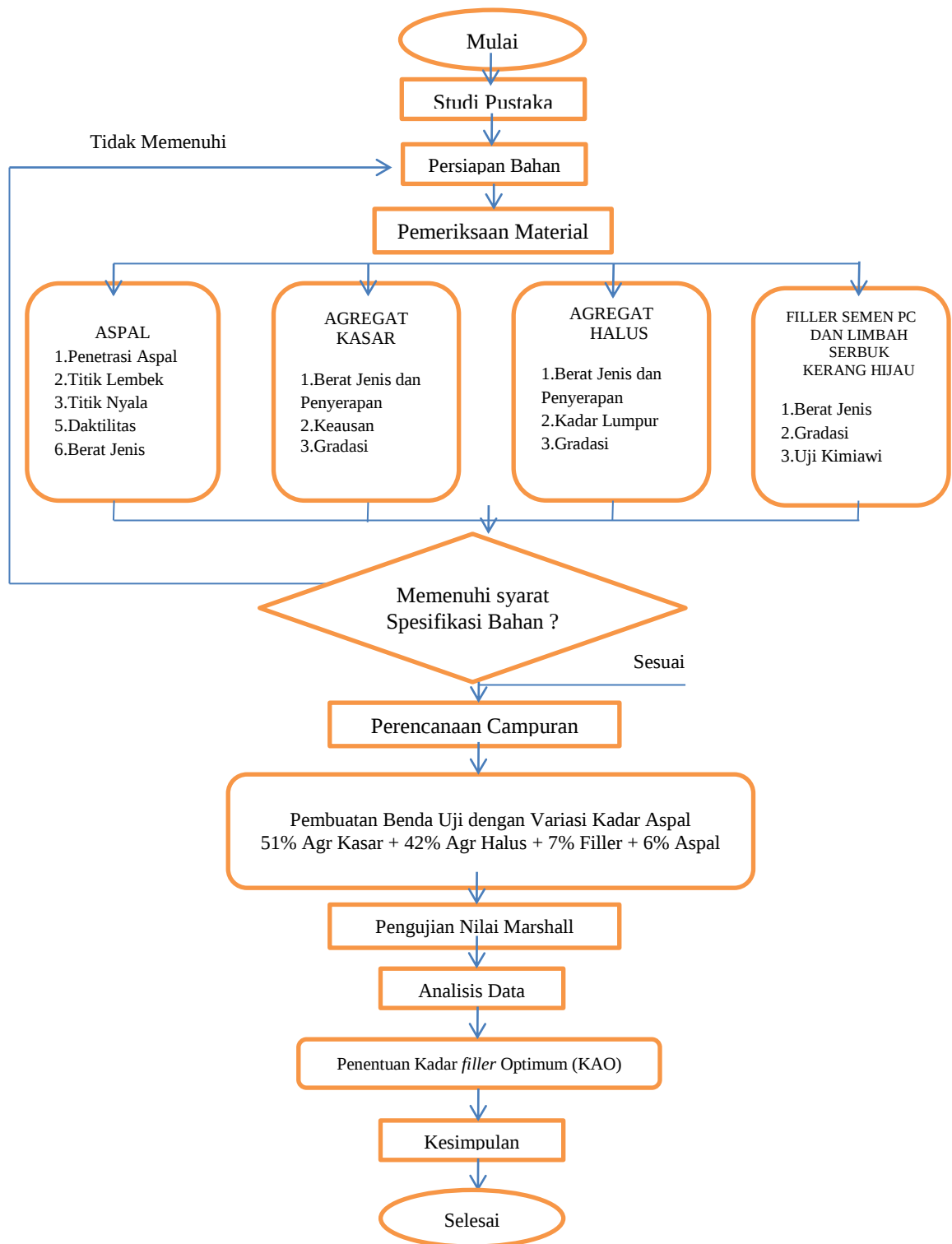
Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Aspal Balai Irigasi yang berada di Jl. Cut Mutiah, Bekasi. Material limbah abu kerang hijau diambil dari tempat budidaya kerang yang berlokasi di wilayah Cilincing, Jakarta. Waktu Penelitian dilakukan di bulan September 2015 s/d Januari 2016.

3.2 Metode Penelitian

Metode eksperimen merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter cetakan 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm yang menggunakan abu kulit kerang hijau sebagai *filler* sebagai pengganti sebagian semen portland.

3.3 Rancangan penelitian

Proses penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Rancangan Penelitian

3.4 Pengambilan Sampel

3.4.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah benda uji yang menggunakan limbah kulit kerang hijau yang dalam bentuk serbuk sebagai pengganti sebagian semen portland yang limbah kulit kerangnya diambil dari cilincing.

3.4.2 Sampel

Ada 20 sampel yang akan di uji dalam penelitian ini, yang merupakan keseluruhan populasi yang akan di uji parameter *marshall* nya sesuai dengan Prosedur pengujian *Marshall* mengikuti SNI 06-2489-1991 tentang Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat *Marshall*.

Tabel 3.1 Sampel Uji Marshall

Variasi <i>Filler</i>	Jumlah Benda Uji (buah) <i>Filler serbuk kulit kerang hijau</i>
0%	5
6,5 %	5
7,5 %	5
8,5 %	5
Jumlah	20

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur pada penelitian ini meliputi: tahap persiapan, tahap pemeriksaan bahan, tahap perencanaan proporsi campuran (mix design), tahap pengadukan, tahap pembuatan benda uji, tahap, tahap pengujian *marshall* benda uji. Penjelasan mengenai prosedur kerja tersebut adalah sebagai berikut:

3.5.1 Tahap Persiapan

Dalam persiapan penelitian ini dilakukan segala hal yang mendukung terlaksananya proses penelitian. Dimulai dari persiapan bahan dan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian, yaitu :

3.5.1.1 Peralatan

Terdiri atas :

1. Lima buah cetakan benda uji diameter 101,6 mm (4 in), tinggi 76,2 mm (3 in) lengkap dengan pelat atas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan :
 - a. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4.536 gram (± 9 gram), tinggi jatuh bebas 457,2 mm $\pm 15,24$ mm (18 inch $\pm 0,6$ in).
 - b. Landasan pemadat terdiri atas balok kayu (jati atau yang sejenis) mempunyai berat isi 0,67 – 0,77 kg/cm³ (dalam kondisi kering) dengan ukuran 203,2 × 203,2 × 457,2 mm (8 × 8 × 18 in) dilapisi dengan pelat baja berukuran 304,8 × 304,8 × 25,4 mm (12 × 12 × 1 in) dan dijangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
 - c. Pemegang cetakan benda uji.
3. Alat pengeluar benda uji; untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan, digunakan alat pengeluar benda uji (extruder) dengan diameter 100 mm (3,95 in).
4. Alat *marshall* lengkap dengan :
 - a. Kepala penekan (breaking head) berbentuk lengkung, dengan jari-jari bagiandalam 50,8 mm (2 in);

- b. Dongkrak pembebanan (loading jack) yang digerakkan secara elektrik dengan kecepatan pergerakan vertikal 50,8 mm/menit (2 in/menit);
 - c. Cincin penguji (proving ring) dengan kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm (0,001 in).
 - d. Arloji pengukur pelelehan dengan ketelitian 0,25 mm (0,1 in) beserta perlengkapannya.
5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang mampu memanaskan campuran sampai $200^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$;
 6. Bak perendam (water bath) dengan kedalaman 152,4 mm (6 in) yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang dapat memelihara temperatur bak perendam pada $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;
 7. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram;
 8. Termometer logam (metal thermometer) berkapasitas 10°C sampai 204°C dengan ketelitian $2,8^{\circ}\text{C}$;
 9. Termometer gelas untuk pengukur temperatur air dalam penangas dengan sensitivitas sampai $0,2^{\circ}\text{C}$;
 10. Perlengkapan lain :
 - a. Wadah untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran beraspal;
 - b. Sendok pengaduk dan spatula.
 - c. Kompor atau pemanas (hot plate).
 - d. Sarung tangan dari asbes, karet serta pelindung pernafasan (masker).

3.5.1.2 Bahan

1. Contoh uji :
 - a. Aspal keras pen 80 dari Pertamina Cilacap.
 - b. Agregat kasar (split) dengan ukuran maksimum 19 mm yang berasal dari Bekasi.
 - c. Agregat halus berupa pasir gunung.
 - d. Bahan pengisi (*filler*) berupa semen Portland dan serbuk kulit kerang hijau yang diambil dari Cilincing.
2. Bahan penunjang :
 - a. Kantong plastik.
 - b. Minyak tanah.

3.5.2 Pemeriksaan Bahan

Sebelum bahan-bahan yang sudah tersedia digunakan dalam penelitian, maka harus diadakan pemeriksaan terhadap bahan-bahan tersebut. Adapun pemeriksaan terhadap tiap-tiap bahan adalah sebagai berikut:

1. *Filler*

Filler yang digunakan dalam penelitian hanya akan diuji pengayakan sesuai dengan SNI 03-4142-1996. Indeks plastisitas tidak diuji pada abu kulit kerang hijau karena tidak disyaratkan pada SK SNI M-1996-1990-F.

2. Agregat kasar

Pemeriksaan terhadap agregat kasar meliputi ketahanan agregat terhadap keausan, berat jenis, dan penyerapan terhadap air.

3. Agregat halus

Pemeriksaan terhadap agregat halus meliputi kadar unsur, kadar lumpur, berat jenis, dan penyerapan terhadap air.

4. Aspal

Pemeriksaan terhadap aspal meliputi uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala, dan berat jenis.

Tabel 3.2 Persyaratan Bahan

Jenis Pemeriksaan	Standar	Persyaratan	
		Min	Maks
Agregat Kasar			
Keausan Agregat	SNI-03-2417-1991	-	40%
Penyerapan Agregat	SNI-03-1969-2008	-	3%
Berat Jenis	SNI-03-1969-2008	2,5	-
Agregat Halus			
Penyerapan air	SNI-03-1970-2008		3%
Berat jenis	SNI-03-1970-2008	2.5	
Kadar Lumpur	SNI 3423-2008		1%
Aspal			
Penetrasi (25° C, 5 detik)	SNI-06-2456-1991	80 mm	99 mm
Titik lembek	SNI-06-2434-1991	46° C	54° C
Titik nyala	SNI-06-2433-1991	225° C	-
Daktilitas	SNI-06-2432-1991	100 cm	-
Berat jenis	SNI-06-2488-1991	—	-
Filler			
Berat jenis	SNI-06-6723-2002	2,5	-

Sumber: (Permen PU No.28/PRT/M/2007) (DPU, 2010)

5. Gradasi

Pemeriksaan gradasi dilakukan dengan pekerjaan pengayakan terhadap bahan agregat pembentuk Laston AC-WC ayakan (saringan) yang digunakan dalam penelitian ini adalah ASTM standart.

3.5.3 Perencanaan Campuran

Perencanaan dengan metode Ashpalt Institute bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran. Perencanaan campuran agregat dapat dilakukan dengan menggunakan grafik ataupun analitis. Rumus dasar pencampuran adalah :

$$P = Aa + Bb + Cc$$

Dimana :

P = persentase material lolos saringan X dari kombinasi agregat A,B,C.

A,B,C = persentase material lolos saringan X untuk agregat A,B,C.

a,b,c = proporsi agregat A, B, C dalam campuran. $a + b + c = 1$.

Kadar aspal optimum ditentukan dengan melakukan pemeriksaan marshall di laboratorium dari beberapa contoh dengan membuat variasi kadar aspal sedangkan gradasi agregat tetap. Hasil pemeriksaan tersebut digambarkan dalam grafik. Kadar aspal optimum adalah kadar aspal yang menghasilkan sifat campuran terbaik pada grafik tersebut.

3.5.4 Pembuatan Benda Uji

1. Persiapan campuran

Keringkan agregat pada temperatur $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ sekurang-kurangnya 4 jam di dalam oven lalu keluarkan dari oven dan tunggu hingga beratnya tetap. Pisahkan agregat dalam fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan. Lakukan pengujian kekentalan aspal untuk memperoleh temperatur pencampuran dan pemadatan. Panaskan agregat pada temperatur 28°C di atas temperatur pencampuran sekurang-kurangnya 4 jam di dalam oven lalu panaskan

aspal sampai mencapai kekentalan yang disyaratkan untuk pekerjaan pencampuran dan pemadatan seperti pada tabel berikut.

Tabel 3.3 Kekentalan Aspal Keras Untuk Pencampuran dan Pemadatan

Alat Uji	Kekentalan Untuk		Satuan
	Penc	Pem	
Viscosimeter	170	280	Centistokes
Viscosimeter	85 ±	140	Detik

Sumber: SNI 06-2489-1991

2. Pencampuran benda uji

Panaskan *asphalt* mixer dan oven agregat pada suhu $\pm 28^{\circ}\text{C}$ di atas suhu adukan untuk aspal panas dan kemudian diaduk hingga merata. Tuangkan aspal yang sudah panas mencapai sebanyak yang dibutuhkan kedalam agregat yang sudah dipanaskan tersebut. Kemudian aduklah dengan cepat pada suhu sesuai pada hasil viskositas penentu suhu, sehingga agregat terlapis merata.

3. Pemadatan benda uji

- Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara $90^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$.
- Letakkan cetakan di atas landasan pemadat dan ditahan dengan pemegang cetakan.
- Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan.
- Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali di sekeliling pinggiran dan 10 kali di bagian tengah.

- e. Letakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan.
 - f. Padatkan campuran dengan temperature yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan sesuai tabel 3.3 dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk lalu-lintas berat.
- 4. Pelat alas berikut leher sambung dilepas dari cetakan benda uji, kemudian cetakan yang berisi benda uji dibalikkan dan pasang kembali pelat alas berikut leher sambung pada cetakan yang dibalikkan tadi.
 - 5. Permukaan benda uji yang sudah dibalik tadi ditumbuk kembali dengan jumlah tumbukan yang sama sesuai dengan poin 3f.
 - 6. Sesudah dilakukan pemadatan campuran, lepaskan pelat alas dan pasang alat pengeluar pada permukaan ujung benda uji tersebut.
 - 7. Keluarkan dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan diberi tanda pengenal serta biarkan selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang.
 - 8. Bila diperlukan untuk mendinginkan benda uji dapat digunakan kipas angin.

3.5.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian meliputi tahapan persiapan dan prosedur pengujian sesuai dengan standar (SNI 06-2489-1991).

3.5.5.1 Persiapan Pengujian

1. Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
2. Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm.
3. Timbang benda uji.
4. Rendam benda uji dalam air selama kira-kira 24 jam pada temperature ruang.
5. Timbang benda uji di dalam air untuk mendapatkan isi dari benda uji.
6. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh.

3.5.5.2 Cara Pengujian

Lamanya waktu yang diperlukan dari diangkatnya benda uji dari bak perendam sampai tercapainya beban maksimum saat pengujian tidak boleh melebihi 30 detik.

1. Rendamlah benda uji dalam bak perendam selama 30-40 menit dengan temperatur tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji.
2. Untuk mengetahui indeks perendaman, benda uji direndam dalam bak perendam selama 24 jam dengan temperatur tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
3. Keluarkan benda uji dari bak perendam dan letakkan dalam bagian bawah alat penekan uji *Marshall*.
4. Pasang bagian atas alat penekan uji *Marshall* di atas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.
5. Pasang arloji pengukur pelelehan pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol,

sementara selubung tangkai arloji dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan.

6. Sebelum pembebanan dilakukan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
7. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan nol.
8. Berikan pembebanan benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum yang dicapai. Untuk benda uji dengan tebal tidak sama dengan 63,5 mm beban harus dikoreksi dengan faktor pengali.
9. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.

3.6 Teknik Pengambilan Data

Nilai dari parameter *Marshall* berupa stabilitas dan kelelehan (*flow*) didapatkan dari hasil pengetesan benda uji dengan menggunakan alat *Marshall*. Sedangkan nilai pengukuran kerapatan dan analisa rongga berupa kepadatan, VMA, VIM, VFA/VFB, serta MQ didapat dari hasil perhitungan berdasarkan rumus. Adapun perhitungannya terdapat pada Bab II bagian 2.1.9 Metode *Marshall*.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data inferensial. Analisis inferensial yang digunakan adalah Uji Whitney yang didasarkan atas prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini.

Adapun perhitungan dalam penelitian ini, seluruh proses analisis data dilakukan secara komputerisasi dengan menggunakan *software IBM SPSS Data Statistics 21 for Windows*.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Uji Pendahuluan

4.1.1 Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras yang berasal dari Cilacap Jawa Tengah yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Balai Irigasi Bekasi. Hasil uji pendahuluan untuk aspal dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal

Jenis Pemeriksaan	Standar uji	Persyaratan		Hasil Pengujian	Satuan	Lampiran
		Pen 80				
		min	max			
1. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1,04965	-	4
2. Daktilitas (25°C, 5 cm / menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	125	Cm	5
3.Titik Nyala (clev, open cup)	SNI 06-2433-1991	225	-	340	°C	7
4. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	46	54	46	°C	8
5. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	80	99	80	0,1 mm	6

4.1.2 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan merupakan batu pecah yang sudah disediakan oleh pihak laboratorium, tabel 4.2 berikut adalah hasil uji pendahuluan agregat kasar. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pemeriksaan	Standar	Persyaratan		Hasil Pengujian	Lampiran
		Min	Maks		
Agregat Kasar					
Berat Jenis	SNI-03-1969-2008	2,5	-	2,6	9
Penyerapan	SNI-03-1969-2008	-	3%	2,4146%	9
Keausan Agregat	SNI-03-2417-1991	-	40%	26,8%	10

Hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat sebagai bahan penyusun lapis perkerasan.

4.1.3 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir gunung yang sudah tersedia di Balai Irigasi, Bekasi. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Standar	Persyaratan		Hasil Pengujian	Lampiran
		Min	Maks		
Agregat Halus					
Penyerapan air	SNI-03-1970-2008		3%	2,07%	11
Berat jenis	SNI-03-1970-2008	2.5		2,56	11
Kadar Lumpur	SNI 3423-2008		5%	3,76%	12

4.1.4 Pengujian *Filler*

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah semen OPC jenis I yang sudah memenuhi SNI 15-2049-2004. Serbuk kulit kerang yang sudah melewati uji berat jenis dan analisa saringan. Hasil pengujian berat jenis dan analisa saringan *filler* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Bahan Pengisi

Jenis Pemeriksaan	Standar	Persyaratan		Hasil Pengujian	Lampiran
		Min	Maks		
Serbuk Kulit Kerang					
Berat jenis	SNI 15-2049-2004	2.5		2,68	13

Hasil analisa saringan *filler* limbah serbuk kulit kerang hijau dapat dilihat pada tabel perbandingan analisa saringan *filler* limbah serbuk kulit kerang hijau dan semen di bawah ini:

Tabel 4.5 Analisa Saringan Filler Serbuk Kulit Kerang Hijau

Ukuran	Gradasi Serbuk Kulit Kerang Hijau		
Ayakan	Berat	Persentase	Persentase
(mm)	(gr)	Tertahan(%)	Lolos (%)
19			100
12.5			100
9.5			100
4.75			100
2.36			100
0.6			100
0.3			100
0.074	8.30	3.30	96.70
Pan	243.40	96.70	0

4.2 Pembuatan Benda Uji

4.2.1 Perencanaan Campuran

Hasil dari proporsi campuran Laston AC-WC secara lengkap bisa dilihat pada lampiran 15. Kesimpulan dari perhitungan proporsi masing-masing bahan penyusun Laston AC-WC seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 4.6 Proposi Bahan Campuran

Variasi Filler		Jumlah (gram)				Total
	Aspal (6%)	Agregat Kasar (51%)	Agregat Halus (42%)	Filler(7%)		
				Semen	Cangkang Kerang	
0%	360	3060	2520	420	0	6000

6,5%	360	3060	2520	392,7	27,3	6000
7,5%	360	3060	2520	388,5	31,5	6000
8,5%	360	3060	2520	384,3	35,7	6000

Pisahkan agregat dalam fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan. Lakukan pengujian kekentalan aspal untuk memperoleh temperatur pencampuran dan pepadatan. Panaskan agregat pada temperatur 28°C di atas temperatur pencampuran sekurangnya 4 jam di dalam oven lalu panaskan aspal sampai mencapai kekentalan yang disyaratkan untuk pekerjaan.



Gambar 4.1 Persiapan Pembuatan Benda Uji

4.2.2 Pencampuran Benda Uji

Setelah *asphalt mixer* mencapai suhu 100°C masukan agregat yang telah dioven lalu aduk hingga rata, kemudian tuang aspal sesuai kebutuhan lalu aduk hingga agregat terlapis merata oleh aspal.



Gambar 4.2 Pengadukan Benda Uji

Setelah tercampur sempurna campuran aspal tersebut dimasukkan ke dalam cetakan benda uji lalu ditumbuk sebanyak 75 kali untuk kedua sisinya hingga didapat bentuk akhir benda uji silinder.



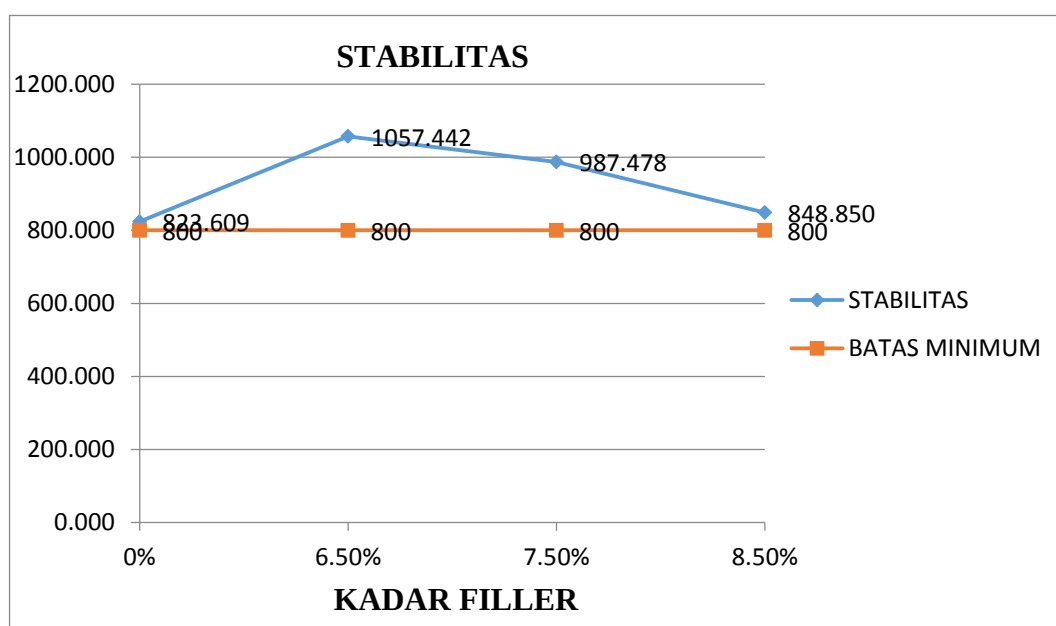
Gambar 4.3 Pemadatan Benda Uji

4.3 Deskripsi Hasil Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mencari parameter *Marshall* pada kondisi standar lalu-lintas berat yaitu 2 x 75 tumbukan. Parameter *Marshall* tersebut adalah nilai stabilitas, kelelehan (*flow*), *marshall quotient* (MQ), *Void in Mineral Aggregates* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Void In the Mix* (VIM) sebagai berikut:

4.3.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau *bleeding*. Spesifikasi umum 2010 menurut Bina Marga menetapkan bahwa stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg untuk Laston AC-WC. Hubungan antara variasi serbuk kulit kerang hijau dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini:

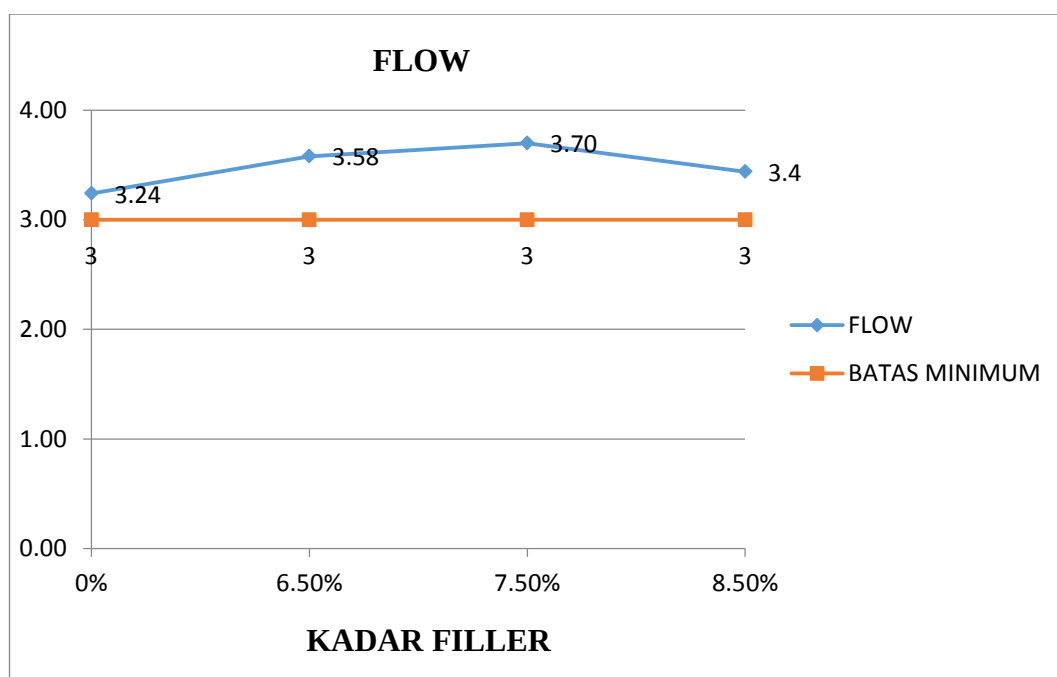


Gambar 4.4 Grafik Stabilitas & Kadar *Filler*

Pada gambar 4.4 di atas terlihat bahwa semua nilai stabilitas variasi serbuk kulit kerang memenuhi persyaratan lalu-lintas. Pada kadar 0% nilai stabilitas naik sampai kadar serbuk kulit kerang 6,5% terjadi penurunan stabilitas pada kadar 8,5%. Pada persentase 8,5% serbuk kulit kerang kerang terindikasikan nilai stabilitas turun karena campuran Laston AC-WC lebih kaku dan getas, hal ini didukung jika dilihat dari nilai *flow* dan *marshall quotient*.

4.3.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan muai menurun. Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi pada benda uji, campuran yang mempunyai nilai *flow* tinggi cenderung menghasilkan campuran yang plastis sehingga akan mudah berubah bentuk (deformasi plastis) apabila terkena beban lalu-lintas tinggi dan berat. Sebaliknya, apabila campuran memiliki *flow* terlalu rendah maka campuran akan bersifat kaku dan getas, hingga mudah retak akibat beban lalu-lintas yang tinggi dan berat. Nilai *flow* dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini:



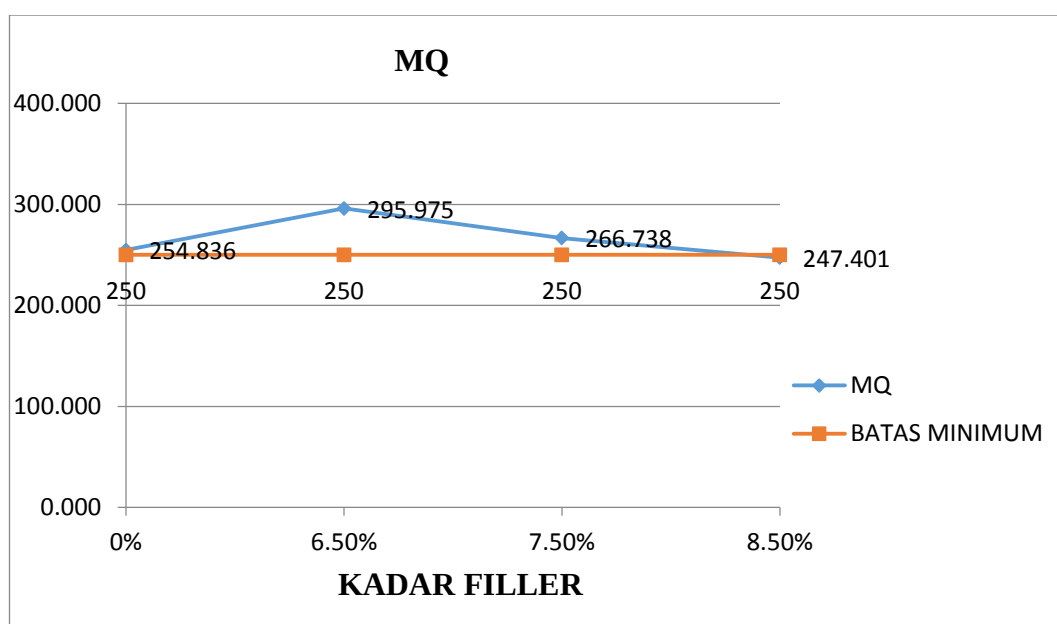
Gambar 4.5 Grafik Flow & Kadar Filler

Pada gambar 4.5 di atas dapat terlihat bahwa nilai *flow* untuk semua variasi kadar serbuk kerang memenuhi parameter *marshall* dengan nilai minimum spesifikasi 3,0. Nilai *flow* optimum pada kadar serbuk kerang 7,5 % lalu nilai *flow*

menurun pada angka 8,5%. Persentase 6,5%-7,5% dinilai lebih plastis dibandingkan persentase 8,5% yang dinilai lebih kaku dilihat dari nilai *flow*.

4.3.3 Marshall Quotient (MQ)

MQ merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran aspal beton. Campuran yang memiliki nilai MQ rendah akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu-lintas yang tinggi dan berat, sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi akan bersifat kaku dan getas. Hubungan antar kadar serbuk kulit kerang dengan *marshall quotient* dapat dilihat dalam gambar grafik berikut ini:



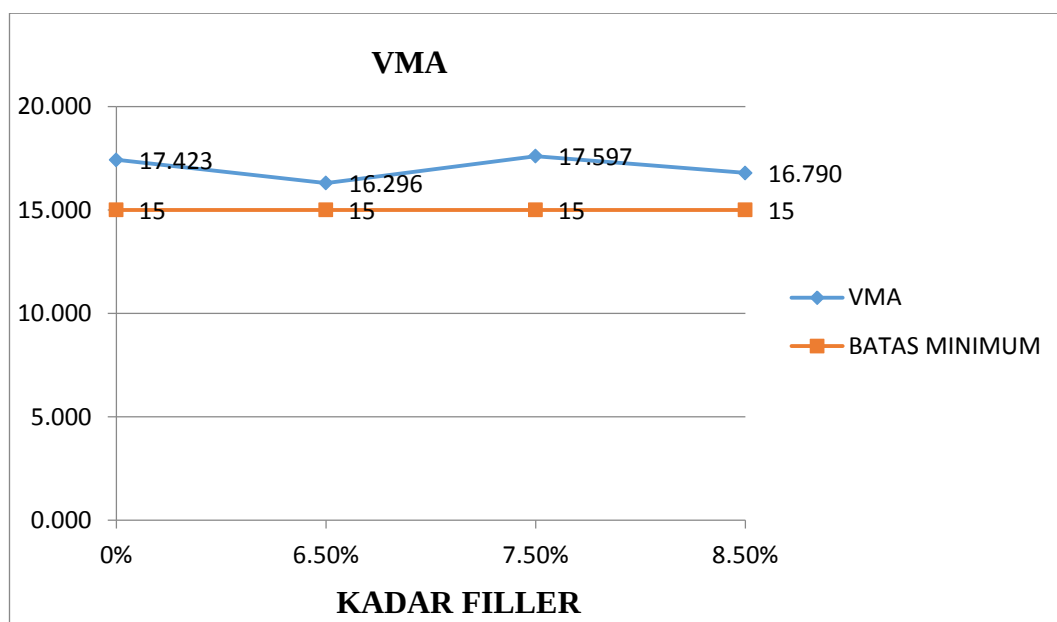
Gambar 4.6 Grafik MQ & Kadar Filler

Pada gambar 4.6 di atas terlihat bahwa nilai MQ untuk kadar serbuk kerang 0%, 6,5%, 7,5% memenuhi persyaratan minimal 250 kg/mm untuk kadar serbuk kerang 8,5% sedikit dibawah persyaratan minimal untuk *marshall*

quotient. Hal ini mengindikasikan kalau campuran Laston AC-WC pada persentase 8,5% serbuk kulit kerang lebih kaku dan mudah terjadinya keretakan.

4.3.4 Rongga Dalam Agregat (VMA)

VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran aspal beton. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, energi pemadatan, dan kadar filler. Hubungan antara kadar serbuk kulit kerang dengan VMA dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini.



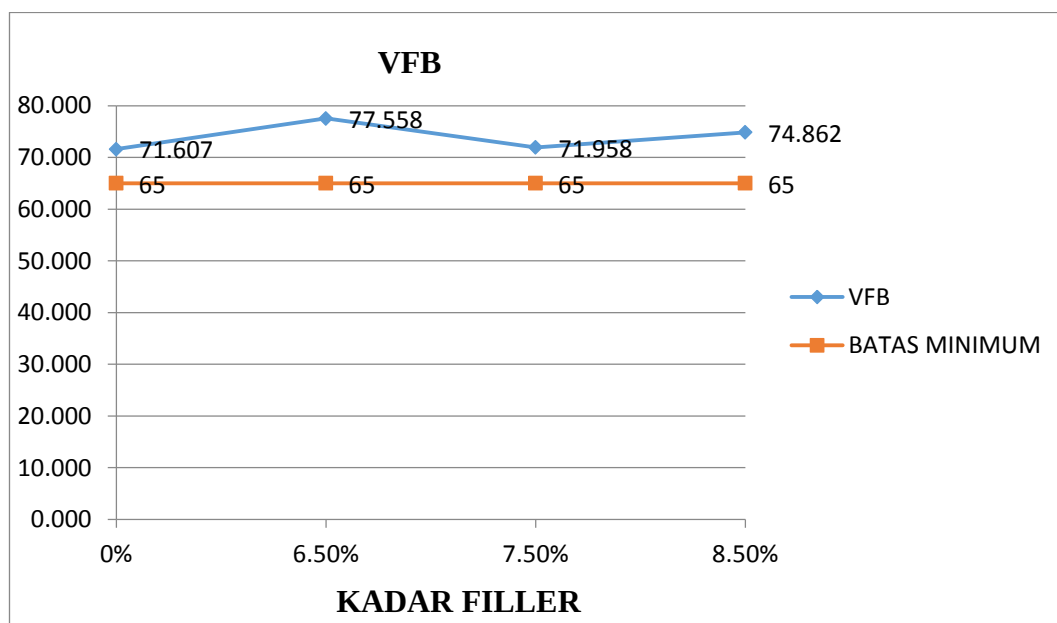
Gambar 4.7 Grafik VMA & Kadar Filler

Pada gambar 4.7 di atas terlihat bahwa nilai VMA optimum berada pada kadar serbuk kulit kerang 7,5%, sedangkan nilai VMA untuk semua kadar serbuk kulit kerang memenuhi persyaratan minimum 15% untuk Laston AC-WC. Hal ini berarti penambahan serbuk kulit kerang dapat meningkatkan ruang untuk menampung aspal dan volume rongga yang mengakibatkan butiran dalam

campuran tidak mudah lepas, campuran tidak kaku, sehingga umur tahun rencana campuran lebih lama.

4.3.5 Rongga Terisi Aspal (VFB)

Nilai VFB menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal, besarnya VFB menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai VFB maka akan semakin kecil nilai VIM yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu, campuran AC-WC akan semakin awet. Apabila VFB terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan semakin tipis yang menyebabkan campuran beton aspal tidak awet.



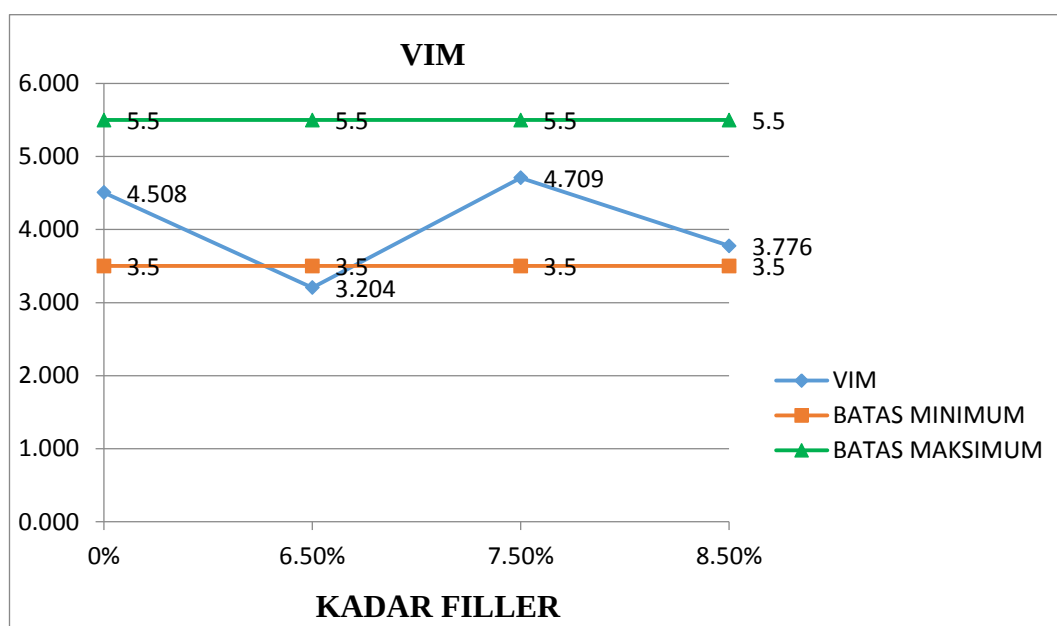
Gambar 4.8 Grafik VFB & Kadar Filler

Pada gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa nilai VFB optimim dengan penambahan kadar serbuk kulit kerang di persentase 6,5%, lalu menurun pada persentase 7,5% dan kembali meningkat pada persentase 8,5%. Semua nilai VFB

kadar serbuk kulit kerang memenuhi parameter *marshall* untuk Laston AC-WC yaitu lebih dari 65%.

4.3.6 Rongga Dalam Campuran (VIM)

VIM menyatakan banyaknya persentase rongga dalam campuran total. Perencanaan nilai VIM dengan rentang ditentukan spesifikasi adalah sesuai untuk mencapai suatu kondisi perkerasan setelah dilalui lalu lintas kendaraan selama beberapa tahun rencana. Nilai VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal berkurang kededapan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal, sedangkan jika nilai VIM terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat. Hubungan antara kadar serbuk kulit kerang dengan nilai VIM dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini:



Gambar 4.9 Grafik VIM & Kadar Filler

Dilihat dari nilai VIM di atas, persentase serbuk kulit kerang memenuhi persyaratan minimal yaitu dengan rentang 3,5%-5,5% dengan nilai optimum VIM

pada persentase 7,5% serbuk kulit kerang sebagai pengganti sebagian bahan pengisi, sedangkan untuk kadar serbuk kulit kerang 6,5% sedikit dibawah persyaratan minimal untuk VIM.

4.4 Hasil Pengujian *Marshall*

Dalam tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kadar *filler* optimum yang menggunakan *filler* serbuk kulit kerang hijau terdapat pada kadar 7,5% dikarenakan nilai stabilitas, kelelahan, MQ, VMA, VFB dan VIM nya memenuhi semua persyaratan parameter *Marshall*.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Parameter Marshall

No	Karakteristik	Persyaratan	Persentase Interval Kadar Aspal			
			0%	6,5%	7,5%	8,5%
1	Stabilitas	Min 800	823,609	1057,44	987,478	848,850
2	Kelelahan	Min 3	3,24	3,58	3,70	3,40
3	MQ	Min 250	254,836	259,975	266,738	247,401
4	VMA	Min 15	17,423	16,296	17,597	16,790
5	VFB	Min 65	71,607	77,558	71,958	74,862
6	VIM	Min 3,5 & Max 5,5	4,508	3,204	4,709	3,776

Berdasarkan hasil uji *Parameter Marshall* nilai kadar *filler* optimum pada persentase 7,5% dan persentase 0% (konvensional) sebagai kontrol terhadap semua interval kadar *filler*, sehingga tidak ada perbedaan yang signifikan penggunaan serbuk kulit kerang hijau dan semen sebagai *filler*.

4.5 Pengujian Prasyarat Analisis

a. Uji kenormalan

Uji kenormalan dimaksudkan untuk memperlihatkan bahwa data sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal.

1. Stabilitas

Tabel 4.8 Uji Normalitas Stabilitas

Tests of Normality							
	STABILITAS	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
NILAI	KADAR FILLER 0%	,210	5	,200 [*]	,934	5	,623
	KADAR FILLER 6,5%	,242	5	,200 [*]	,933	5	,620
	KADAR FILLER 7,5%	,249	5	,200 [*]	,911	5	,475
	KADAR FILLER 8,5%	,162	5	,200 [*]	,980	5	,932
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

Kenormalan dipenuhi jika hasil uji tidak signifikan untuk suatu taraf signifikansi tertentu (biasanya $\alpha = 0.05$ atau 0.01). Sebaliknya, jika hasil uji signifikan maka kenormalan tidak terpenuhi. Berdasarkan output diatas, diketahui taraf signifikansi pada kadar filler 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% adalah $0.200 > 0.05$ maka, H_0 diterima artinya pada sampel kadar filler 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% berasal dari populasi berdistribusi normal.

2. Flow

Tabel 4.9 Uji Normalitas Flow

Tests of Normality							
	FLOW	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
NILAI	KADAR FILLER 0%	,197	5	,200*	,943	5	,685
	KADAR FILLER 6,5%	,199	5	,200*	,950	5	,737
	KADAR FILLER 7,5%	,307	5	,139	,833	5	,146
	KADAR FILLER 8,5%	,292	5	,190	,845	5	,180
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

Kenormalan dipenuhi jika hasil uji tidak signifikan untuk suatu taraf signifikansi tertentu (biasanya $\alpha = 0.05$ atau 0.01). Sebaliknya, jika hasil uji signifikan maka kenormalan tidak terpenuhi. Berdasarkan output diatas, diketahui taraf signifikansi pada kadar aspal 0% dan 6,5% adalah $0.200 > 0.05$, pada kadar filler 7,5% adalah $0.139 > 0.05$, dan pada kadar filler 8,5% adalah $0.190 > 0.05$ maka, H_0 diterima artinya pada sampel kadar filler 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% berasal dari populasi berdistribusi normal.

3. Marshall Quetiont

Tabel 4.10 Uji Normalitas MQ

Tests of Normality							
	MARSHALL_ QUETIONT	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
NILAI	KADAR FILLER 0%	,211	5	,200*	,967	5	,858
	KADAR FILLER 6,5%	,273	5	,200*	,875	5	,289
	KADAR FILLER 7,5%	,218	5	,200*	,967	5	,858
	KADAR FILLER 8,5%	,252	5	,200*	,927	5	,573
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

Kenormalan dipenuhi jika hasil uji tidak signifikan untuk suatu taraf signifikansi tertentu (biasanya $\alpha = 0.05$ atau 0.01). Sebaliknya, jika hasil uji

signifikan maka kenormalan tidak terpenuhi. Berdasarkan output diatas, diketahui taraf signifikansi pada kadar filler 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% adalah $0.200 > 0.05$ maka, H_0 diterima artinya pada sampel kadar filler 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5% berasal dari populasi berdistribusi normal.

4. Void in Mineral Aggregates

Tabel 4.11 Uji Normalitas VMA

Tests of Normality							
	VOID_IN_MINERAL_ AGGREGATES	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
NILAI	KADAR FILLER 0%	,231	5	,200*	,883	5	,324
	KADAR FILLER 6,5%	,292	5	,190	,856	5	,213
	KADAR FILLER 7,5%	,381	5	,017	,718	5	,015
	KADAR FILLER 8,5%	,298	5	,166	,855	5	,212
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

Kenormalan dipenuhi jika hasil uji tidak signifikan untuk suatu taraf signifikansi tertentu (biasanya $\alpha = 0.05$ atau 0.01). Sebaliknya, jika hasil uji signifikan maka kenormalan tidak terpenuhi. Berdasarkan output diatas, diketahui taraf signifikansi pada kadar filler 0%, 6,5%, 8,5% adalah 0.200, 0.190, 0.166 > 0.05 dan pada kadar filler 7,5% adalah 0.017 < 0.05 maka, H_0 ditolak artinya pada sampel kadar filler 7,5% berasal dari populasi tidak berdistribusi normal.

5. *Void Filled with Bitumen***Tabel 4.12 Uji Normalitas VFB**

Tests of Normality							
	VOID_FILLED_WITH _BITUMEN	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
NILAI	KADAR FILLER 0%	,238	5	,200*	,881	5	,312
	KADAR FILLER 6,5%	,295	5	,180	,854	5	,207
	KADAR FILLER 7,5%	,350	5	,045	,769	5	,044
	KADAR FILLER 8,5%	,300	5	,159	,850	5	,195
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

Kenormalan dipenuhi jika hasil uji tidak signifikan untuk suatu taraf signifikansi tertentu (biasanya $\alpha = 0.05$ atau 0.01). Sebaliknya, jika hasil uji signifikan maka kenormalan tidak terpenuhi. Berdasarkan output diatas, diketahui taraf signifikansi pada kadar filler 0%, 6,5%, 8,5% adalah 0.200, 0.180, 0.159 > 0.05 dan pada kadar filler 7,5% adalah 0.045 < 0.05 maka, H_0 ditolak artinya pada sampel kadar filler 7,5% berasal dari populasi tidak berdistribusi normal.

6. *Void In the Mix***Tabel 4.13 Uji Normalitas VIM**

Tests of Normality							
	VOID_IN_THE_MIX	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
NILAI	KADAR FILLER 0%	,232	5	,200*	,883	5	,323
	KADAR FILLER 6,5%	,292	5	,188	,856	5	,214
	KADAR FILLER 7,5%	,381	5	,017	,718	5	,015
	KADAR FILLER 8,5%	,299	5	,166	,855	5	,212
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

Kenormalan dipenuhi jika hasil uji tidak signifikan untuk suatu taraf signifikansi tertentu (biasanya $\alpha = 0.05$ atau 0.01). Sebaliknya, jika hasil uji signifikan maka kenormalan tidak terpenuhi. Berdasarkan output diatas, diketahui

taraf signifikansi pada kadar filler 0%, 6,5%, 8,5% adalah 0.200, 0.188, 0.166 > 0.05 dan pada kadar filler 7,5% adalah 0.017 < 0.05 maka, H_0 ditolak artinya pada sampel kadar filler 7,5% berasal dari populasi tidak berdistribusi normal.

Maka dapat disimpulkan tidak bisa dilanjutkan ke pengujian prasyarat selanjutnya jadi dilanjutkan menggunakan uji *Mann-Whitney (Whitney U Test)* dengan *software* statistik yaitu *IBM SPSS Data Statistics 21*. Uji *Mann-Whitney* (non parametrik) ini dilakukan karena data-data dari hasil pengujian tidak memenuhi syarat menggunakan statistik parametrik.

4.6 Pengujian Hipotesis

Untuk mengetahui diterima atau ditolaknya H_0 , dilakukan uji *Mann-Whitney (Whitney U Test)* dengan *software* statistik yaitu *IBM SPSS Data Statistics 21*. Uji *Mann-Whitney* (non parametrik) ini dilakukan karena data-data dari hasil pengujian tidak memenuhi syarat menggunakan statistik parametrik (tidak terdistribusi normal dan tidak homogen), dalam uji *Mann-Whitney*, dibandingkan hasil terbaik dari pengujian dengan hasil dari aspal konvensional. Pengujian ini menggunakan taraf signifikansi (α) 0,05, dengan dasar keputusan sebagai berikut :

1. Jika $\text{Sig} \geq 0,05$ maka H_0 diterima (tidak signifikan atau tidak ada perbedaan)
2. Jika $\text{Sig} \leq 0,05$ maka H_0 ditolak (signifikan atau terdapat perbedaan)

Setelah data diolah dengan *software*, didapatkan hasil uji *Mann-Whitney* seperti di bawah ini :

Tabel 4.14 Uji Mann-Whitney U

Test Statistics^a	
	NILAI
Mann-Whitney U	15,000
Wilcoxon W	36,000
Z	-,480
Asymp. Sig. (2-tailed)	,631
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,699 ^b
a. Grouping Variable: KADAR_ASPAL	
b. Not corrected for ties.	

Dari hasil uji *Mann-Whitney* di atas, nilai signifikansi yang didapat adalah 0,631 yang artinya $> 0,05$. Maka dari itu, hasil uji tidak signifikan secara statistik. Dengan demikian H_0 diterima yang menyatakan tidak ada perbedaan antara hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan filler limbah serbuk kerang hijau dengan hasil pengujian terhadap benda uji aspal dengan filler semen (aspal konvensional).

4.7 Keterbatasan Penelitian

Dalam penelitian ini peneliti mengakui banyak keterbatasan penelitian yang di antaranya adalah:

1. Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah serbuk kulit kerang hijau yang hanya bisa didapatkan dari daerah tertentu (persebarannya tidak merata di seluruh wilayah di Indonesia).
2. Penelitian ini menggunakan alat timbangan manual sehingga memungkinkan terjadinya kesalahan pengukuran karena keterbatasan pembacaan.

3. Penggunaan peralatan pencampur yang berulang-ulang dapat menyebabkan campuran beton aspal tertinggal pada mixer karena terlalu lengket dan sulit untuk dikeruk sehingga mengurangi berat campuran untuk benda uji.
4. Penelitian ini hanya membandingkan hasil uji di laboratorium dengan persyaratan yang sudah ada.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan untuk konstruksi lapisan jalan raya, yaitu jenis lapis aspal beton dengan menggunakan serbuk kulit kerang hijau sebagai pengganti sebagian bahan pengisi (*filler*) yang dikaji terhadap parameter *Marshall* dengan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemanfaatan limbah serbuk kulit kerang hijau sebagai *filler* ini diharapkan memenuhi persyaratan parameter *Marshall* yang sesuai dan menghasilkan perpaduan yang baik antara agregat kasar, agregat halus, aspal, dan *filler*. Material yang terdapat pada limbah serbuk kulit kerang hijau memiliki kandungan kalsium oksida cukup tinggi yaitu 97,90%, sehingga dengan terdapatnya kandungan kalsium oksida dalam kulit kerang hijau menjadikan material ini dapat digunakan sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran aspal beton.
2. Nilai persentase serbuk kulit kerang hijau optimum terdapat pada persentase 7,5% dikarenakan semua persyaratan memenuhi parameter *Marshall*, nilai stabilitas 987,478 dengan nilai minimum 800, nilai kelelehan 3,70 dengan nilai minimum 3, nilai MQ 266,738 dengan nilai minimum 250, nilai VMA 17,597 dengan nilai minimum 15, nilai VFB 71,958 dengan nilai minimum 65, dan nilai VIM 4,709 dengan nilai minimum 3,5 dan maximum 5,5.

3. Hubungan antara variasi persentase serbuk kulit kerang hijau dengan parameter *Marshall* yaitu Stabilitas, *flow*, VMA, dan VIM membentuk kecenderungan positif dengan seiring kenaikan persentase dari 0% sampai 7,5% namun menurun pada persentase 8,5% serbuk kulit kerang. Semakin besar proporsi serbuk kulit kerang hijau akan menurunkan nilai parameter *marshall*.
4. Nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), VFB, dan VMA memenuhi persyaratan parameter *Marshall* untuk lalu-lintas berat. Hanya nilai VIM pada persentase 6,5% dan nilai *Marshall* Quetient pada persentase 8,5% serbuk kulit kerang tidak memenuhi persyaratan untuk parameter *marshall* Laston AC-WC.
5. Berdasarkan hasil uji *Mann-Whitney* ternyata dari hipotesis yang diajukan nilai signifikansi yang didapat adalah 0,631 yang artinya $> 0,05$. Dengan demikian H_0 diterima yang menyatakan tidak ada perbedaan antara hasil pengujian aspal beton yang menggunakan limbah serbuk kulit kerang hijau sebagai bahan pengisi sebagian *filler* dengan hasil pengujian aspal beton konvensional yang menggunakan semen sebagai bahan pengisi terhadap nilai parameter *marshall*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian benda uji lapis aspal beton *wearing course*, dengan menggunakan serbuk kulit kerang hijau sebagai pengganti sebagian bahan pengisi (*filler*) dalam campurannya, maka dapat disarankan sebagai berikut :

1. Penelitian lebih lanjut menggunakan serbuk kulit kerang hijau sebagai bahan campuran (*filler*) dapat dilakukan pada jenis lapis perkerasan lain seperti lapis tipis aspal beton (Laston) dan lapis tipis aspal pasir (Latasir).
2. Penggunaan serbuk kulit kerang hijau dalam campuran lapis aspal beton masih perlu dikaji lebih lanjut mengenai pengaruh kandungan silikat dalam kaitannya dengan parameter *marshall* lapis aspal beton.
3. Penelitian lebih lanjut menggunakan persentase 7,5% serbuk kulit kerang hijau sebagai pengganti sebagian bahan pengisi (*filler*), karena seluruh nilai parameter *marshall* yang dihasilkan memenuhi persyaratan standar perkerasan jalan dan mendapat hasil yang optimal.
4. Perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil penelitian, antara lain: penimbangan benda uji, pemeriksaan bahan baik aspal maupun agregat, suhu pencampuran, proses pemadatan, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO T 2-91. (2010). *Sampling of Aggregates AASHTO T 248, Reducing Sample of Aggregate to Testing Size*. Washington, DC 20001-USA: American Association of State and Highway Transportation Officials.
- Ali, S. (2006). *Pengaruh Penggunaan Gabungan Kapur Padam dan Fly-Ash sebagai Filler terhadap Kinerja Campuran Laston Tipis Permukaan*. Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa, 21-30.
- Bahri, S., & Ali, M. (2005). *Cangkang Kerang Laut Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Campuran Aspal*. Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Jakarta: Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah. (2013). *Pekerjaan Perkerasan Jalan*. Jakarta: Virama Karya.
- Depkimpraswil. *Manual Pekerjaan Beraspal Panas Buku 1*. Jakarta: DPU.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1983). *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Tipis Aspal Beton (FLEXIBLE) (LASTON)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2010). DIVISI 6 PERKERASAN ASPAL: SEKSI 6.3 CAMPURAN BERASPAL PANAS. In *Spesifikasi teknis Bina Marga 2010-2011* (pp. 6.1-6.112). Jakarta: DPU-BINA MARGA.
- Esentia, A. (2014). *Pengaruh Penggantian Sebagian Filler Semen dengan Kombinasi 40% Serbuk Batu Bata dan 60% Abu Cangkang Lokan pada Campuran Asphalt Concrete Binder course (AC-BC)*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Bengkulu.
- Ichwanto, M. A. (2011). *Penggunaan Bahan Pengisi (filler) Fly Ash Terhadap Parameter Marshall Pada Lapis Aspal Beton (Laston)*. Malang: Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang.
- Maulana, E. (2015). *Penggunaan Abu Kulit Kerang Hijau Sebagai Substitusi Sebagian Volume Semen Pada Batako Berlubang*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Negeri Jakarta.
- Peraturan Pemerintah No. 34. (2006). *Tentang Jalan*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

- Permen PU No.28/PRT/M. (2007). *Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas*. DPU.
- Putra, H. A., Dewi, R., & Pataras, M. (2015). *Kinerja Campuran Aspal Laston HRS Base Dengan Variasi Bahan Filler Dengan Menggunakan Metode Marshall*. Palembang: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- Putrowijoyo, R. (2006). *Kajian Laboratorium Sifat Marshall dan Durabilitas Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dengan membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland dan Abu Batu sebagai Filler*. Semarang: Program Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
- RSNI M-06-2004. *Cara Uji Campuran Beraspal Panas*. Jakarta: DPU.
- RSNI T-01-2005. *Cara uji butiran agregat kasar berbentuk pipih, lonjong, atau pipih dan lonjong*. Jakarta: BSN.
- Shafari, F. (2015). *Kajian Parameter Marshall Dengan Bubuk Cangkang Kerang Darah Sebagai Pengganti Sebagian Filler Dalam Campuran Lapis Aspal Beton Wearing Course*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Negeri Jakarta.
- SNI 03-1737-1989. *Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*. Jakarta: BSN.
- SNI 06-2489-1991. *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*. Jakarta: BSN.
- SNI 06-6723-2002. *Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal*. Jakarta: DPU.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Yuniarto, E., & Sentosa, L. (2006). *Durabilitas Laston dengan Filler Abu Gambut*. Media Komunikasi Teknik Sipil, 14(2), 189-197.
- Zulkati, A., Diew, W. Y., & Delai, D. S. (2012). *Effects of Fillers on Properties of Asphalt-Concrete Mixture*. Journal of Transportation Engineering, 138(7).