

**STUDI PENGGUNAAN LIMBAH CANGKANG KEMIRI
SEBAGAI SUBSITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL
AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course)**

TUGAS AKHIR

**Karya Tulis Ilmiah Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Dari
Universitas Fajar**

Oleh:

**FATLY EMBA TAU
1920121020**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR
2024**

**STUDI PENGGUNAAN LIMBAH CANGKANG KEMIRI
SEBAGAI SUBSITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL
AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course)**

**FATLY EMBA TAU
(1920121020)**

Menyetujui

Tanggal, 11 Mei 2024

Pembimbing



Ir. Zulharnah, MT
NIDN 0031036407

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Fajar



Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT
NIDN 0906107701

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Fajar



Fatmawaty Rachim, ST., MT
NIDN 0919117903

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir:

**“STUDI PENGGUNAAN LIMBAH CANGKANG KEMIRI SEBAGAI
SUBSITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC (Asphalt
Concrete – Wearing Course)”** adalah karya orisinal saya dan setiap seluruh
sumber acuan telah ditulis sesuai dengan panduan penulisan Ilmiah yang berlaku di
Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar, 11 Mei 2024

Yang Menyatakan



FATLY EMBA TAU

ABSTRAK

Studi Penggunaan Limbah Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi *Filler* Pada Campuran Aspal Ac-Wc (Asphalt Concrete – Wearing Course), Fatly Emba Tau Cangkang Kemiri adalah Limbah Yang di peroleh dari produksi buah kemiri Tidak terpakai dan biasanya tidak dimanfaatkan lalu kemudia menjadi limbah industri. Cangkang Kemiri sering kali dianggap sebagai bahan yang tidak berguna dan merugikan lingkungan namun pada kenyataannya cangkang kemiri dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas jalan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan limbah cangkang kemiri terhadap perkerasan jalan AC-WC dengan Spesifikasi Umum Bina Marga. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kadar aspal 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 dan 7%, sedangkan variasi limbah cangkang kemiri yang digunakan yaitu 10%; 20%; dan 30%. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *marshall* dan cantabro untuk mengetahui karakteristik campuran. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan limbah cangkang kemiri pada variasi 30% mempunyai pengaruh yang naik dibandingkan variasi 10% dan 20% terhadap karakteristik *marshall* seperti nilai stabilitas sebesar 1151,13 Kg, *Flow* sebesar 2,55 mm, VFB sebesar 70,70%, VMA sebesar 14,20%, VIM sebesar 4,11% dan MQ sebesar 451,59Kg/mm dan pada variasi 30% pada pengujian nilai cantabro mengalami degradasi sebesar 6,488. Dengan demikian, campuran tersebut telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga.

Kata kunci: *Kadar Aspal Optimum, Karakteristik Marshall, Limbah Cangkang Kemiri, Cantabro*

ABSTRACT

Study on the Use of Candlenut Shell Waste as a Filler Substitute in Ac-Wc Asphalt Mixtures (Asphalt Concrete – Wearing Course) Fatly Emba Tau. Candlenut shells are waste that is obtained from the production of candlenuts. They are not used and are usually not utilized and then become industrial waste. Candlenut shells are often considered a useless material that is detrimental to the environment, but in reality candlenut shells can be used to repair and improve the quality of roads. The aim of this research is to find out how much influence the addition of candlenut shell waste has on AC-WC road pavement with General Bina Marga Specifications. The independent variables in this research are variations in asphalt content 5.0; 5.5; 6.0; 6.5 and 7%, while the variation of candlenut shell waste used is 10%; 20%; and 30%. Tests were carried out using Marshall and Cantabro methods to determine the characteristics of the mixture. The results of the test show that using candlenut shell waste at a variation of 30% has an increased effect compared to variations of 10% and 20% on marshall characteristics such as a stability value of 1151.13 Kg, Flow of 2.55 mm, VFB of 70.70% , VMA was 14.20%, VIM was 4.11% and MQ was 451.59Kg/mm and with a 30% variation in the test the cantabro value experienced a degradation of 6.488. Thus, the mixture meets the requirements of Bina Marga specifications.

Keywords: Optimum Asphalt Content, Marshall Characteristics, Cantabro Shell Waste, Cantabro

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas Berkat dan Kasih Karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini adalah tugas akhir yang wajib untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Fajar.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, baik yang diberikan secara langsung maupun secara tidak langsung. Olehnya itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dan membantu penulis dari awal/1sampai pada proses penyusunan proposal skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang selalu mendoakan dan memberikan bantuan baik dalam materi maupun pemikiran.
2. Kedua saudara saya yang selalu memberikan dukungan serta bantuan.
3. Bapak Dr. Mulyadi Hamid, SE. M.Si selaku Rektor Universitas Fajar.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Fajar.
5. Ibu Fatmawati Rachim ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar.
6. Ibu Ir. Zulharnah, MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan untuk membimbing, memberikan arahan, memberi bantuan literature serta diskusi-diskusi yang dilakukan dengan penulis.
7. Dr. Sri Gusty, ST.,MT selaku dosen pembimbing akademik (PA).
8. Segenap dosen dan staff Program Studi Teknik Sipil Universitas Fajar.
9. Teman-teman Angkatan 2019 Program Studi Teknik Sipil Universitas Fajar.
10. Semua Pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal skripsi ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini tidak terlepas dari keterbatasan saya sebagai penulis yang sudah berusaha semaksimal mungkin untuk

menyusun laporan ini dengan baik. Oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca menjadi harapan penulis. Penulis berharap proposal skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada setiap pembaca khususnya bermafaat kepada penulis itu sendiri.

Makassar, Mei 2024

FATLY EMBA TAU

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	14
I.1 Latar Belakang.....	14
I.2 Rumusan Masalah.....	16
I.3 Tujuan Penelitian.....	16
I.4 Batasan Masalah.....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	18
II.1 Kontruksi Perkerasan.....	18
II.2 Kontruksi Perkerasan Lentur.....	18
II.2.1 Lapisan Permukaan (<i>surface course</i>).....	20
II.2.2 Lapisan Pondasi Atas (<i>base course</i>).....	20
II.2.3 Lapisan Pondasi Bawah (<i>subbase course</i>).....	21
II.2.4 Tanah Dasar (<i>subgrade</i>).....	22
II.3 Aspal.....	22
II.3.1 Jenis Aspal.....	23
II.3.2 Komposisi Aspal.....	26
II.3.3 Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC).....	28
II.4 Agregat.....	30
II.4.1 Sifat Agregat.....	30
II.4.2 Daya Tahan Agregat.....	31
II.4.3 Bentuk dan Stekstur Agregat.....	32
II.4.4 Agregat Kasar.....	32
II.4.5 Agregat Halus.....	34

II.4.6 Filler	35
II.5 Gradasi Agregat	37
II.6 Pengujian Cantabro	41
II.7 Penelitian Terdahulu	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	45
III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	45
III.2 Alat dan Bahan	45
III.2.1 Alat.....	45
III.2.2 Bahan.....	45
III.3 Metode Pengumpulan Data.....	46
III.4 Pelaksanaan Penelitian.....	46
III.4.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	46
III.4.2 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Bahan	47
III.4.3 Pembuatan Benda Uji.....	48
III.4.4 Pengujian Pada Benda Uji	49
III.4.5 Analisi Data.....	51
III.5 Diagram Alir Penelitian	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
IV.1 Hasil Uji Karakteristik Material	53
IV.1.1 Hasil Uji Sifat Fisik Agregat	53
IV.1.2 Sifat Fisik Agregat Kasar	53
IV.1.3 Sifat Fisik Agregat Halus.....	54
IV.2 Pengujian Kadar Aspal Optimal	54
IV.2.1 Pengujian Marshall.....	54
IV.3 Gradasi Gabungan.....	63
IV.4 Pengujian Marshall.....	64
IV.5 Pengujian Cantabro.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
V.1 Kesimpulan	73
V.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Spesifikasi Teknik Penetrasi 60/70	24
Tabel II .2 Contoh Komponen Fraktional di Indonesia, Beton Aspal Campuran Panas (Sukirman,2003)	26
Tabel II .3 Ketentuan Campuran Laston (AC-WC).....	29
Tabel II. 4 Persyaratan Agregat Kasar	33
Tabel II .5 Spesifikasi Saringan Agregat Kasar	34
Tabel II. 6 Persyaratan Agregat Halus dan Metode Pengujian.....	34
Tabel II .7 Spesifikasi Saringan Agregat Halus	35
Tabel II. 8 Syarat Gradasi Filler	37
Tabel II .9 Ketentuan Gradasi Agregat	38
Tabel III .1 Metode Karakteristik Agregat	47
Tabel III .2 Jumlah Benda Uji	48
Tabel III. 3 Metode Pengujian Karakteristik.....	49
Tabel IV .1 Sifat – Sifat Fisik Agregat Kasar	53
Tabel IV. 2 Sifat – Sifat Fisik Agregat Halus	54
Tabel IV. 4 Hasil Pengujian Marshall.....	55
Tabel IV. 5 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum.....	62
Tabel IV. 6 Gradasi Gabungan Agregat	63
Tabel IV. 7 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Filler Limbah Cangkang Kemiri.....	64
Tabel IV. 8 Hasil Pengujian Cantabro Menggunakan Filler Limbah Cangkang Kemiri.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Komponen Peralasan Jalan	20
Gambar II. 2 Agregat Berbentuk Bulat dan Agregat Berbentuk Kubus ..	32
Gambar II. 3 Agregat Tak Berbentuk	32
Gambar II. 4 Limbah Cangang Kemiri.....	36
Gambar IV. 1 Nilai Terhadap Kadar Aspal.....	55
Gambar IV .2 Nilai VFB Terhadap Variasi Kadar Aspal	57
Gambar IV. 3 Nilai VMA Terhadap Variasi Kadar Aspal.....	58
Gambar IV. 4 Nilai Stabilitas Terhadap Variasi Kadar Aspal	59
Gambar IV. 5 Hasil Pengujian Flow Terhadap Variasi Kadar Aspal	60
Gambar IV. 6 Grafik Hasil MQ Terhadap Variasi Kadar Aspal	61
Gambar IV. 7 Kurva Grafik Gabungan Agregat	63
Gambar IV. 8 Hasil VIM Terhadap Variasi Filler Limbah Cangang Kemiri	65
Gambar IV. 9 Hasil VMA Terhadap Variasi Filler Limbah Cangang Kemiri	66
Gambar IV 10 Hasil VFB Terhadap Variasi Filler Limbah Cangang Kemiri	67
Gambar IV. 11 Hasil Stabilitas Terhadap Variasi Filler Cangang Kemiri	68
Gambar IV. 12 Hasil Flow Terhadap Variasi Filler Limbah Cangang Kemiri	69
Gambar IV. 13 Hasil Marshall Question Terhadap Variasi Filler Limbah Cangang Kemiri	70
Gambar IV. 14 Variasi Limbah Cangang Kemiri Terhadap Cantabro.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Absorpsi Dan Berat Jenis Agregat Kasar	76
Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus	77
Lampiran 3 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar	78
Lampiran 4 Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat Kasar	79
Lampiran 5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus	80
Lampiran 6 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	81
Lampiran 7 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	82
Lampiran 8 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus / Abu Batu	83
Lampiran 9 Penentuan Komposisi Agregat Secara Grafik	84
Lampiran 10 Proporsi Gabungan KAO 5%	85
Lampiran 11 Proporsi Gabungan KAO 5.5%	86
Lampiran 12 Proporsi Gabungan KAO 6%	87
Lampiran 13 Proporsi Gabungan KAO 6.5%	88
Lampiran 14 Proporsi Gabungan KAO 7%	89
Lampiran 15 Analisa Mix Data Bricket Gradasi Bina Marga	90
Lampiran 16 Analisa Nilai Variasi Cangkang Kemiri	92
Lampiran 17 Proporsi Gabungan 10%	93
Lampiran 18 Proporsi Gabungan 20%	94
Lampiran 19 Proporsi Gabungan 30%	95
Lampiran 20 Analisa Data Pengujian Marshall	96
Lampiran 21 Analisa Data Pengujian Cantabro	97

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Jalan raya merupakan bagian utama alat transportasi darat, jalan raya sebagai alat yang digunakan untuk menghubungkan antara satu tempat ke tempat yang lain, memperlancar kegiatan pengiriman jasa dan barang serta sebagai fasilitas pendukung dalam keberhasilan pembangunan di berbagai daerah. Meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan khususnya dibidang infrastruktur, menjadikan hal yang luar biasa secara khusus dibidang pembangunan jalan yang sekarang ini berkembang pesat. Tentu dengan prasarana transportasi jalan yang baik, akan berpengaruh terhadap dampak perekonomian dan kehidupan sosial. Maka kualitas pada konstruksi jalan tersebut sangat diperlukan agar dapat mampu mendukung suatu kelancaran dan kenyamanan pada daerah tersebut. Seiring berjalannya waktu, jalan akan mengalami perubahan baik dari segi fisik maupun dari segi kimianya, hal ini tentunya akan berpengaruh pada kelancaran aktivitas bagi para pengguna jalan. Dalam kegiatan pemeliharaan jalan yang rusak sering terjadi lebih rendah dari waktu pelayanan yang disebabkan oleh adanya banyak faktor-faktor antara lain faktor manusia, faktor alam, serta beban. Faktor alam biasanya memberi pengaruh terhadap kualitas perkerasan jalan diantaranya, perubahan suhu, air perubahan cuaca serta temperature udara.

Perkerasan jalan pada umumnya merupakan bahan pengikat aspal dengan jenis gradasi rapat sehingga dapat menghasilkan lapisan perkerasan yang kedap air dan tahan lama. Seiring berjalannya waktu maka permukaan jalan mengalami keausan atau kerusakan aspal yang mulai berubah baik dari fisik maupun dari kimianya sehingga bisa mempengaruhi untuk dapat memuai bersama perubahan temperature dan pergerakan kecil pada lapis pondasi.

Pembangunan infrastruktur khususnya jalan, merupakan hal yang sangat penting dan berpengaruh dalam upaya memajukan perekonomian dalam suatu daerah. Meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan pembangunan khususnya

dibidang infrastruktur, menjadikan hal yang luar biasa khususnya dibidang pembangunan jalan yang sekarang ini berkembang pesat. Tentu dengan prasarana transportasi jalan yang baik, akan berpengaruh terhadap dampak perekonomian dan kehidupan sosial. Maka kualitas pada konstruksi jalan tersebut sangat diperlukan agar dapat mampu mendukung suatu kelancaran dan kenyamanan pada daerah tersebut. Campuran beraspal masih banyak digunakan di Indonesia walaupun beberapa ruas jalan sudah dilapisi dengan perkerasan kaku salah satu jenis campuran aspal yaitu aspal AC-WC merupakan konstruksi perkerasan jalan.

Pada zaman ini perkembangan teknologi bahan telah banyak mendorong penelitian untuk mencoba menggunakan material alternatif sebagai komponen untuk campuran beton aspal salah satunya adalah limbah cangkang kemiri sebagai bahan pengisi *filler* sebagai partikel halus. *Filler* adalah suatu material butiran kecil yang pengisi *filler* sebagai partikel halus yang lolos pada saringan No. 200 (0,075). *Filler* sebagai bahan pengisi yang baik tidak mempunyai kadar air dan bebas dari bahan lainnya yang dapat mempengaruhi kandungan *filler* pada proses pencampuran penghamparan dan pemadatan. *filler* sendiri berfungsi sebagai bahan pengisi rongga antara agregat kasar dan agregat halus yang di hamparkan sehingga dapat meningkatkan lebih rapat dan memperkecil rongga yang ada pada campuran.

Kemiri adalah salah satu jenis tumbuhan yang bijinya dimanfaatkan sebagai minyak dan rempah-rempah bumbu masakan. Penggunaan cangkang kemiri sebagai alternatif pengganti *filler* pada campuran aspal (AC-WC), diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran perkerasan aspal. Pasalnya Kulit kemiri merupakan limbah yang mengandung komposisi kapur (CaO), silikon oksida (SiO₂), oksida besi (Fe₂O₃), magnesium oksida (MgO), air (H₂O).

Sifat cangkang kemiri yang kaku dan kuat dapat dikaitkan dengan komposisi jaringan sklerenkim, khususnya sklereid ini memiliki dinding sel sekunder yang kaya akan lignin, sehingga meningkatkan ketahanan tekanan dan benturan. Adapun komponen kimia yang terkandung dalam cangkang kemiri antara lain yaitu holoselulosa (Hobselulose) sebesar 49,22 %, pentose (Pentosan) sebesar 14,55% , lignin sebesar 54,46%, dan abu (ash) sebesar 8,73%.

Pemanfaatan limbah cangkang kemiri sebagai substitusi filler pada abu batu pada campuran aspal dapat mengurangi limbah yang ada dan sekaligus ramah terhadap lingkungan. (Center for Forestry and Forest Standards 2020) menyatakan bahwa mengintegrasikan teknologi hijau ke dalam aplikasi yang menggunakan bahan baku ecogreen dapat mengurangi polusi.

Berdasarkan uraian diatas maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul **“STUDI PENGGUNAAN LIMBAH CANGKANG KEMIRI SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course)”**.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan limbah cangkang kemiri sebagai pengganti *filler* pada campuran aspal menggunakan aspal minyak sebagai pengikat ditinjau dari pengujian :

1. Berapakah nilai karakteristik marshall pada campuran aspal menggunakan limbah cangkang kemiri sebagai substitusi pada campuran aspal ?
2. Berapakah nilai cantabro pada campuran aspal menggunakan limbah cangkang kemiri sebagai substitusi filler pada campuran aspal ?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan limbah cangkang kemiri sebagai substitusi filler pada campuran aspal menggunakan aspal minyak sebagai pengikat ditinjau dari pengujian :

1. Untuk mengetahui nilai karakteristik marshall pada campuran aspal menggunakan limbah cangkang kemiri sebagai substitusi filler pada campuran aspal.
2. Untuk mengetahui nilai cantabro pada campuran aspal menggunakan limbah cangkang kemiri sebagai substitusi filler pada campuran aspal.

I.4 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak merambat dan dapat berjalan dengan terstruktur maka di batasi sebagai berikut :

1. Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan skala laboratorium.
2. Jenis limbah yang digunakan adalah cangkang kemiri yang dicampurkan pada aspal AC-WC.
3. Spesifikasi gradasi yang di gunakan yaitu bina marga 2010.
4. Penelitian ini menggunakan aspal minyak dengan kadar aspal 5,25 dengan penentrasi 60/70 berdasarkan KAO.
5. Filler yang digunakan adalah cangkang kemiri yang sudah di haluskan yang lolos saringan 200 (0,075 mm) atau tertahan PAN.
6. Kadar variasi limbah cangkang kemiri yang di gunakan 10% 20% 30%.
7. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian perbandingan SNI dengan menggunakan limbah cangkang kemiri.
8. Menggunakan Komposisi Agregat Berdasarkan Hasil dari Cara Grafik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kontruksi Perkerasan

Konstruksi Perkerasan Jalan merupakan suatu lapisan agregat yang dipadatkan dengan menggunakan pengikat atau tanpa lapisan pengikat di atas lapisan tanah pada suatu jalur transportasi. Jika konstruksi pada perkerasan direncanakan menggunakan lapisan pengikat, maka lapisan pengikat yang umum menggunakan lapisan aspal atau semen. Dengan adanya konstruksi perkerasan jalan, maka badan jalan akan terlindungi dari kerusakan terutama yang disebabkan oleh air dan beban lalu lintas selama konstruksi perkerasan akan meningkatkan daya dukung tanah yang melemah oleh air (Sukirman, 1999).

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas (Sukirman, 1999) :

- a. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*). yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan mendistribusikan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*). yaitu perkerasan yang merupakan semen (*portland cement*) adalah sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul dan ditahan oleh pelat beton.
- c. Kontruksi Perkerasan Komposit (*composite pavement*). yaitu sebuah penggabungan antara perkerasan kaku dengan perkerasan lentur dan dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau sebaliknya perkerasan lentur dibawah perkerasan kaku.

II.2 Kontruksi Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah suatu perkerasan jalan menggunakan bahan campuran berbutir sebagai lapisan bagian bawahnya dan

menggunakan campuran sebagai lapisan permukaan. Konstruksi pada perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan bahan yang diletakkan di atas tanah dasar atau badan jalan yang dipadatkan dan kedudukan yang stabil, oleh karena itu syarat-syarat untuk memenuhi perkerasan lentur sebagai berikut (Sukirman, 1999):

a. Syarat-syarat jalan raya

Perkerasan lentur dapat dilihat dari keamanan dan kenyamanan berlalu lintas harus memenuhi syarat sebagai berikut :

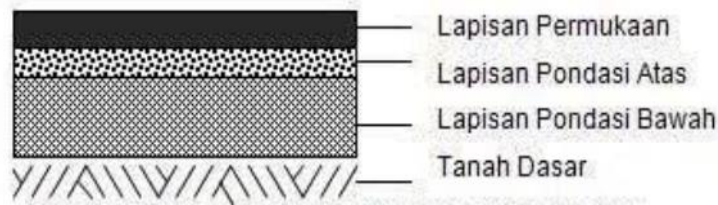
- Permukaan yang rata, tidak begelombang, tidak berlubang serta tidak melendut.
- Tampak cukup kaku sehingga tidak mudah berubah bentuk Ketika ada beban yang bereaksi diatasnya.
- Permukaan cukup kesat, memberikan gesekan yang baik antar ban dengan permukaan jalan sehingga tidak mudah terjadi selip.
- Tampak tidak mengkilap, dan jika Teka pancaran sinar matahari tidak silau.

b. Syarat-Syarat Kekuatan atau Structural

Perkerasan jalan di lihat dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban harus memenuhi syarat berikut:

- Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban atau muatan lalu lintas ke tanah dasar.
- Kedap air sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan dibawahnya. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air yang jatuh diatasnya cepat teralirkan.
- Memiliki kemampuan untuk menahan beban yang ada diatasnya tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Adapun bagian lapisan perkerasan lentur terdiri dari lapisan permukaan (surface course), lapisan pondasi atas (base course), lapisan pondasi bawah (subbase course), dan lapisan tanah dasar (subgrade).



Gambar II.1 Komponen Peralasan Jalan

II.2.1 Lapisan Permukaan (*surface course*)

Lapisan permukaan (*surface course*). merupakan lapisan yang paling atas dari susunan lapisan perkerasan jalan. Lapisan pertama yang akan menerima beban roda dan akan menyalurkan tekanan tersebut ke lapisan bagian bawahnya. Adapun fungsi utama dari lapisan ini adalah :

a. Secara Struktural,

Fungsi utama secara struktural sebagai berikut :

- Bagian yang bersentuhan langsung dan menahan beban lalu lintas di atasnya. Memiliki stabilitas yang tinggi untuk menahan beban roda selama terhitung masa pelayanan.
- Lapis aus (*wearing course*). Lapisan yang langsung menerima gesekan-gesekan oleh rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah.

b. Secara non struktural

Non structural berguna sebagai bagian yang berfungsi membentuk permukaan yang halus, rata dan juga kenyamanan bagi setiap pemakain jalan.

II.2.2 Lapisan Pondasi Atas (*base course*)

Lapisan pondasi atas (*base course*). adalah lapisan yang bertujuan memperkuat dan menahan getaran lalu lintas dan membagi beban ke lapisan bawahnya, lapisan ini merupakan lapisan yang dirancang memiliki keawetan dan kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang diterima serta memiliki kekuatan daya dukung dan kepadatan. Fungsi utama dari lapisan pondasi atas adalah :

- a. Membantu kerja lapis permukaan sebagai penahan gaya geser dari beban roda, dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.
- b. konstruksi perkerasan lebih kuat, yang di fungsikan sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan.
- c. Sebagai lapisan peresapan untuk lapisan pada pondasi bawah. Berdasarkan ketentuan dari Bina Marga penggunaan material untuk lapis pondasi atas harus memiliki nilai $CBR \geq 50\%$ dan $PI < 4\%$.

II.2.3 Lapisan Pondasi Bawah (subbase course)

Lapisan pondasi bawah adalah lapis pondasi yang berada di atas tanah dasar, Berikut fungsi dari lapisan pondasi bawah:

- a. Berfungsi untuk membagi beban roda ke tanah dasar, Lapisan ini harus tahan kuat dan harus memiliki $CBR 20\%$ dan Plastisitas Indeks ($PI \leq 10\%$).
- b. keuntungan penggunaan Material pondasi bawah lebih murah dibandingkan dengan lapisan-lapisan perkerasan di atasnya.
- c. Untuk mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
- d. Sebagai lapisan dasar (lantai kerja) untuk melaksanakan pekerjaan perkerasan jalan, misalnya pada penghamparan bahan lapis pondasi.
- e. Peresapan air yang bagus dan nilai kepadatannya mencegah masuknya air dari tanah dasar ke lapisan pondasi
- f. Untuk menghalangi tanah dasar yang berkualitas rendah agar tidak naik kelapisan pondasi di atasnya.

Adapun macam-macam lapisan pondasi bawah yang umumnya di gunakan di Indonesia adalah:

1. Agregat bergradasi baik, dapat dibedakan atas tiga yaitu:
 - Sirtu atau pitrun kelas A
 - Sirtu atau pitrun kelas B
 - Sirtu atau pitrun kelas C

Sirtu kelas A bergradasi lebih kasar adari sirtu kelas B.

2. Stabilisasi
 - Stabilisasi agregat dengan semen (*Cement Treated Subbase*).

- Stabilisasi agregat dengan kapur (*Lime Treated Subbase*).
- Stabilisasi tanah dengan semen (*Soil Cement Stabilization*).
- Stabilisasi tanah dengan kapur (*Soil Lime Stabilization*).

(Bakarbessy, 2019)

II.2.4 Tanah Dasar (subgrade)

Tanah dasar adalah susunan tanah yang berada paling bawah yang berguna sebagai tempat meletakkan susunan perkerasan. Lapisan tanah dasar bisa berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya berkualitas bagus atau dengan tanah urugan yang di datangkan dari tempat lain, pada lapisan tanah dasar dapat dibedakan atas:

- Lapisan tanah dasar, *tanah galian*.
- Lapisan tanah dasar, *tanah urugan*
- Lapisan tanah dasar, *tanah asli*

II.3 Aspal

Aspal adalah bahan perkerasan untuk perkerasan lunak dan perkerasan komposit yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk menstabilkan perkerasan atau subgrade. Aspal merupakan bahan yang disuling dari minyak mentah dan merupakan hasil dari industri perminyakan. Aspal merupakan bahan pengikat, yang berwarna coklat tua atau hitam dengan komponen utama bitumen. Hidrokarbon merupakan penyusun dasar utama bitumen yang biasa dikenal dengan bitumen. Aspal pada lapisan perkerasan berfungsi sebagai bahan pengikat antar partikel agregat sehingga membentuk bahan yang padat, sehingga dapat memberikan kekuatan dan ketangguhan campuran untuk mendukung beban kendaraan. Aspal membutuhkan jumlah tertentu untuk mengikat partikel agregat menjadi satu, mengisi celah di antara agregat. Kandungan bitumen yang rendah dalam campuran akan menurunkan kekuatan, keuletan ke penolak air dan mengurangi workability. Namun, terlalu banyak bitumen juga akan menyebabkan stabilitas dan kekakuan campuran yang buruk.

II.3.1 Jenis Aspal

Perbedaan aspal berdasarkan cara memperolehannya yaitu :

a. Aspal Alam

Di Indonesia, aspal alam yang dikenal dengan nama Aspal Buton (Asbuton) banyak ditemukan di Kepulauan Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton asbuton diperoleh dari minyak bumi yang merendam batu kapur berpori, kemudian mengalami proses yang sangat panjang dan terbentuk secara alami, menguapkan sebagian kecil minyaknya, mula-mula menguapkan gasnya, kemudian Geselin, Corsen, Diesel dan terakhir bitumennya. masih tersisa di batu kapur. Berdasarkan kadar aspalnya, aspal kancing dibedakan dengan kode B10, B13, B16, B25, B30 (aspal kancing B10 merupakan aspal kancing dengan kadar aspal rata-rata 10%) (Sukirman, 2003).

b. Aspal Buatan

Aspal buatan, yaitu bitumen yang merupakan produk sisa penyulingan minyak bumi dan mengandung parafin dengan kadar dan biaya yang rendah, disebut sebagai minyak mentah berbahan dasar parafin. Aspal buatan ini juga sering disebut aspal minyak bumi yang banyak mengandung gugus aromatik dan selestial, sehingga persentase aspalnya tinggi dan persentase parafinnya rendah. Aspal buatan terdiri dari berbagai macam bentuk yaitu padat keras, cair, emulsi dan tar.

1. Aspal Keras

Aspal panas keras (Asphalt Cement AC) merupakan aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan (temperatur ruang). Biasanya pada temperatur ruang (25-30oC) yang berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Di Indonesia, aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya, yaitu :

- AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40-50.
- AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70.

- AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85-100
- AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150.
- AC pen 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300

Aspal penetrasi rendah dimanfaatkan pada cuaca panas atau di daerah lalu lintas padat, sedangkan aspal semen penetrasi tinggi digunakan pada cuaca dingin atau di daerah dengan lalu lintas sedikit. Penetrasi aspal semen yang biasa digunakan di Indonesia biasanya berkisar antara 60/70 hingga 80/100. Aspal keras yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal dengan tingkat penetrasi 60/70. Persyaratan aspal untuk rasio penetrasi 60/70 tercantum pada tabel di bawah.

Tabel II. 1 Spesifikasi Teknik Penetrasi 60/70

No	Jenis penguji	Metode	Spesifikasi pen 60/70
1	Penetrasi 25°C ;det;gr;0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-70
2.	Viskositas	SNI 06-6441-2000	385
3.	Titik lembek °C	SNI 06-2434-1991	≥48
4.	Indeks penetrasi	-	≥-1,0
5.	Titik nyala °C	SNI 06-2433-1991	≥232
6.	Daktilitas , 25°C 5 CM menit	SNI 06-2441-1991	≥100
7.	Berat jenis	SNI 06-2441-1992	≥1.0
8.	Kelarutan dalam trichloroethylene % asli	RSNI M-04-2004	≥99
9.	Stabilitas penyimpanan (°C) pengujian residu TFOT atau RTFOT	ASTM D 5976 part 6.1	-
10.	Penurunan residu TFOT %berat	SNI 06-2440-1991	<0,8
11.	Penetrasi setelah penurunan berat % asli	SNI 06-2456-1991	<54
12.	Daktilitas setelah penurunan berat cm	SNI 06-2432-1991	>50
13.	Uji noda	SNI 03-6885-2002	Negatif
14.	Kadar paraffin %	SNI 03-3639-2002	>2

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2013

2. Aspal cair

Aspal cair adalah campuran semen aspal dan pengencer yang diproduksi selama penyulingan minyak bumi. Aspal yang dipotong dengan cara ini berbentuk cair pada suhu kamar. Berdasarkan kemudahan pelarutan dan penguapan pelarut, aspal cair dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sukirman, 2003):

a. RC (*Rapid Curing Cut Back*).

Semen aspal larut dalam bensin atau super RC adalah Cut Back yang paling cepat menguap.

b. MC (*medium curing*).

Merupakan semen bitumen yang dilarutkan dalam bahan cair yang lebih kental dari minyak tanah, dengan tingkat penguapan sedang.

c. SC (*Slow curing*).

Merupakan semen aspal yang dilarutkan dengan material yang lebih kental seperti solar. Aspal jenis ini merupakan aspal pemotongan yang paling lama menguap.

3. Aspal Elmusi

Aspal emulsi merupakan pencampuran antara aspal dan air, dimana aspal yang telah diemulsi mengandung bahan pengemulsi yang lebih cair sehingga partikel aspal dapat larut dalam air. Untuk mencegah partikel aspal saling tarik menarik dan membentuk partikel besar, maka partikel tersebut diberi muatan listrik. Berdasarkan kandungan yang terkandung dalamnya dibedakan menjadi :

a. *Kationik* merupakan aspal emulsi asam, ialah aspal emulsi yang bermuatan listrik positif.

b. *Anionik* adalah juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang bermuatan listrik negatif.

c. *Nanionik* disebut juga sebagai aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak menghantarkan listrik.

Aspal emulsi anionik dan kationik umumnya digunakan sebagai bahan

perkerasan jalan Berdasarkan kecepatan pengerasannya, aspal ini dibedakan menjadi :

- a. *Rapid selling* (RS). aspal yang mengandung bahan pengemulsi sehingga pengikatan terjadi begitu cepat.
- b. *Medium setting* (MA). jenis aspal yang penguapannya cepat.
- c. *Slow setting* (SS). jenis aspal emulsi yang paling lambat menguap.

4. Tar

Tar biasa disebut sebagai cairan yang diperoleh dari mineral organik seperti batu atau kayu dengan cara digiling atau disuling pada suhu tinggi tanpa asam. Pada saat yang sama, hanya tar batubara yang digunakan dalam pembangunan jalan, karena jumlah tar kayu sangat sedikit.

5. Aspal Karet

Aspal karet dibuat dengan menambahkan karet ke aspal minyak bumi. Aspal dapat digunakan dalam bentuk aspal semen, aspal cair, atau aspal emulsi, sedangkan karet dapat berupa karet butiran, karet padat, atau karet cair.

II.3.2 Komposisi Aspal

adalah zat berwarna hitam atau coklat tua yang larut dalam heptana, cairan kental yang terdiri dari resin dan minyak. Resin merupakan cairan berwarna kuning atau coklat tua yang melekat pada aspal dan mudah hilang atau rusak pada saat pemeliharaan jalan. Ketika minyak ringan digunakan sebagai cairan dan aspal serta aspal digunakan, faktor kimia yang mempengaruhi konsentrasi fisik aspal menjadi dasar untuk memahami faktor-faktor yang mengendalikan penggunaan aspal (Sukirman, 2003). Komposisi kimia rasio infiltrasi aspal 60/70 tercantum pada tabel di bawah ini:

Tabel II .2 Contoh Komponen Fraksional di Indonesia, Beton Aspal Campuran Panas (Sukirman,2003).

Unsur kimia	<i>Asphalt Cement Penetrasi 60/70</i>
<i>Asphalt</i>	22,41%

<i>Maltene</i>	-
<i>Basa Nitrogen</i>	24,90%
<i>Accidafin – I (A1)</i>	14,50%
<i>Accidafin – I (A2)</i>	18,97%
<i>Parafin (P)</i>	19,22%

Aspal yang dipakai pada konstruksi perkerasan jalan juga memiliki fungsi sebagai berikut ini (sukirman, 2003) :

1. Menjadi pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat serta aspal itu sendiri.
2. Sebagai bahan pengisi, memuat rongga antara butiran-butiran agregat dan pori-pori yang ada pada agregat itu sendiri.

Dengan fungsi demikian, artinya aspal harus memiliki sifat-sifat yang baik. Adapun sifat sifat aspal antara lain (sukirman 2003) :

1. Daya tahan (durabilitas)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal untuk mempertahankan sifat aslinya ketika terkena unsur-unsur sepanjang umur jalan. Ciri-ciri tersebut adalah jenis campuran aspal, tergantung pada agregat, campuran agregat dan aspal, serta proses finishingnya.

2. Adhesi dan kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk berikatan dengan agregat sehingga membentuk ikatan yang baik antara agregat dengan aspal, sedangkan kohesi adalah kemampuan elastis aspal dalam menahan agregat pada tempatnya setelah dilakukan pengisian.

3. Kepekaan terhadap temperature

Karena aspal mempunyai sifat termoplastik, ia menjadi cair bila dipanaskan dan mengental atau mengeras seiring turunnya suhu. Sensitivitas aspal terhadap perubahan sifat akibat perubahan suhu disebut sensitivitas suhu.

4. Kekerasan aspal

Pencampuran aspal dengan agregat atau penyemprotan aspal panas pada permukaan agregat yang telah disiapkan untuk peleburan berlangsung pada suhu yang relatif tinggi. Oksidasi terjadi pada saat pelaksanaan sehingga menyebabkan aspal melunak dan kemudian menjadi rapuh. Semakin tipis lapisan aspal maka semakin besar derajat kerapuhannya.

II.3.3 Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)

Berdasarkan pencampuran aspal beton yang ada diantaranya sebagai berikut, (sukirman, 2003).

1. Beton aspal (Laston) merupakan salah satu jenis beton aspal kontinu yang sering digunakan pada jalan dengan kepadatan lalu lintas padat. Laston dikenal juga dengan sebutan AC (Asphalt Concrete), ciri utama beton yang terkandung dalam campuran ini adalah kestabilannya. Ketebalan minimum Laston adalah 4 hingga 6 cm, tergantung tugasnya. Laston menawarkan 3 jenis campuran, yaitu:
 - a. Laston merupakan lapisan aus disebut juga AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Concrete) dengan ketebalan minimal 4 cm. Meskipun AC-WC tidak memberikan beban, namun dapat meningkatkan ketahanan perkerasan terhadap degradasi, sehingga memperpanjang umur seluruh struktur perkerasan.
 - b. Laston menjadi lapisan pondasi yang disebut AC-Base (Asphalt Concrete-Base) dengan ketebalan minimal 6 cm. Lapisan ini membentuk lapisan pelapis di bawah lapisan adhesi (AC-BC). Permukaan jalan tidak secara langsung bergantung pada kondisi cuaca tetapi harus cukup tahan lama untuk menahan beban lalu lintas yang disalurkan oleh roda. Perbedaanannya terletak pada jenis skala agregat dan konsentrasi aspal yang digunakan. Upper Laston atau Lapisan Pondasi Atas (AC-Base) merupakan pondasi jalan yang terbuat dari campuran agregat dan aspal yang dicampur dan dipadatkan dengan perbandingan tertentu pada kondisi panas. Peran dasar jalan (AC-Base) adalah untuk

menopang lapisan permukaan, mengurangi perambatan tegangan dan deformasi serta menyalurkan beban ke struktur jalan di bawahnya (lapisan tanah).

2. Lapisan tipis aspal beton (Lataston) merupakan beton aspal bergradasi berlawanan, Ditujukan untuk jalan-jalan lalu lintas yang ringan dan sedang. ini juga sering disebut dengan HRS (Hot Rolled Sheet), tebal minimum 3 cm.
3. Aspal pasir tipis (Latasir) adalah aspal beton yang ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas rendah, terutama dimana agregat besar tidak tersedia atau sulit diperoleh. Lapisan ini memiliki ketahanan terhadap penurunan permukaan tanah yang rendah.
4. ATB (Asphalt Treated Base) merupakan lapisan yang terkhusus di formalasikan untuk menambah keawetan dan kelelehan.

mencapai kemampuan mengalir aspal yang cukup untuk memungkinkan campuran merata. Campuran panas biasanya dibuat di pabrik dan kemudian diaplikasikan di lokasi. Setelah campuran panas diaplikasikan, campuran panas tersebut dipadatkan menggunakan mesin pemadatan. Spesifikasi Campuran AC-WC Laston diberikan pada tabel di bawah ini menggunakan spesifikasi konstruksi.

Tabel II .3 Ketentuan Campuran Laston (AC-WC)

Sifat-sifat Campuran		Laston AC-WC	
Kadar aspal efektif (%)		5,1	4,3
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,2	
Jumlah tumbukan		2x75	
Rongga dalam campuran (VITM) (%)	Min	3,5	
	Maks	5,0	

Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15
Rongga terisi aspal (VFWA) (%)	Min	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800
	Maks	-
Pelelehan (mm)	Min	13
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010

II.4 Agregat

Agregat adalah agregat dari kerikil, batu pasir atau bahan lainnya, yang dihasilkan oleh proses alam atau buatan manusia. Agregat alam adalah yang dapat digunakan sebagaimana adanya di alam atau dengan sedikit perawatan dan agregat buatan adalah agregat yang diperoleh dari penghancuran batuan.

II.4.1 Sifat Agregat

Kemampuan agregat dalam menanggung beban lalu lintas ditetapkan oleh karakteristik dan kualitasnya. Agregat berkualitas dan memiliki sifat yang positif diperlukan untuk lapisan permukaan yang langsung mendukung beban lalu lintas dan mengalirkan beban tersebut ke lapisan di bawahnya. Evaluasi kualitas sifat agregat sebagai material konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori sesuai dengan penjelasan yang disampaikan oleh Sukirman (1999) yaitu:

- a. Keawetan dan kekuatan (durability and strength). lapisan perkerasan dapat di pengaruhi oleh :
 - Gradasi
 - Ukuran Maksimum
 - Kadar Lempung

- Kekerasan dan Ketahanan
 - Bentuk Butiran
 - Tekstur Permukaan
- b. Kemampuan dilapisin aspal dengan baik, dapat dipengaruhi oleh :
- Porositas
 - Kemampuan Basah
 - Jenis Penggunaan Agregat
- c. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang aman dan nyaman, dapat dipengaruhi oleh :
- Tahanan Geser (skid resistance)
 - Campuran yang memberikan kemudahan dan kenyamanan dalam pelaksanaan

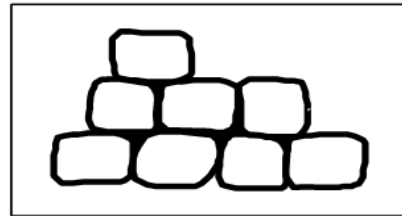
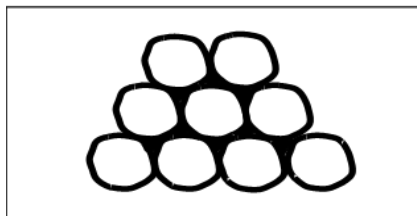
II.4.2 Daya Tahan Agregat

Ketahanan agregat untuk tidak mudah hancur pecah oleh pengaruh mekanis atau kimia adalah daya tahan agregat. Degradasi didefinisikan sebagai proses agregat yang hancur menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat gaya yang didapatkan pada waktu penimbunan, pemadatan ataupun oleh beban lalu lintas. Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yaitu:

- a. Tipe agregat dengan karakteristik lunak atau lembut akan mengalami degradasi yang lebih signifikan dibandingkan dengan agregat yang memiliki sifat lebih keras.
- b. Pengaturan ukuran partikel, gradasi terbuka akan menghasilkan tingkat degradasi yang lebih tinggi dari pada gradasi yang lebih padat.
- c. Bentuk partikel akan mengalami degradasi yang lebih besar dibanding dengan yang berbentuk kubus bersudut.
- d. Ukuran partikel yang lebih kecil mempunyai tingkat degradasi yang lebih kecil dibanding dengan partikel dengan ukuran besar.
- e. Energi pemadatan degradasi akan terjadi lebih besar pada pemadatan dengan menggunakan energi pemadatan yang lebih besar.

II.4.3 Bentuk dan Stekstur Agregat

- a. Bulat, yaitu agregat yang terdapat di sungai sering tergerus air, sehingga biasanya berbentuk bulat.
- b. Lonjong, dikatakan lonjong apabila ukuran terpanjang $>1,8$ kali diameter rata-rata.
- c. Kubus, yaitu hasil stone crusher yang memiliki bidang kontak yang lebih besar (berbentuk bidang untuk memberikan kapasitas penguncian atau interlocking yang lebih besar).
- d. Pipih, dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu maupun proses alam
- e. Tak beraturan, merupakan agregat yang tidak mengikuti salah satu yang disebutkan diatas



Gambar II.2 Agregat Berbentuk Bulat dan Agregat Berbentuk Kubus



Gambar III.3 Agregat Tak Berbentuk

II.4.4 Agregat Kasar

Agregat adalah adalah suatu kumpulan butiran batuan yang memiliki ukuran tertentu dalam proses ini hasil alam secara langsung ataupun hasil pecahan dari batu yang besar. Dari pecahan kita bisa menentukan dan memilih agregat yang akan kita gunakan, agregat kasar digunakan sebagai bahan campuran dengan berbagai jenis butiran atau pecahan batu yang mempunyai ukuran tertentu.

Aggregat kasar memiliki tekstur yang permukaannya berbentuk lonjong atau tidak rata, baik tidaknya konstruksi dapat dipengaruhi oleh pemilihan jenis agregat yang akan digunakan fungsi dari agregat kasar adalah sebagai pengunci (*interlocking*). antar material lain seperti kerikil atau pecahan batu sebagai hasil disintegrasi alami dari bebatuan yang diperoleh mesin industri pemecah batu yang tertahan disaringan NO.4 (4,75 mm).

Tabel II. 4 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian		Standard	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhdap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks 12%
Abrasi dengan Mesin Los Angeless	Campuran AC Bergradasi kasar	SNI 2417:2008	Maks 30 %
	Semua jenis Bergradasi lainnya.		Maks 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI-032439-1991	Max 9,5%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)		DoT’S pensvania Test Method PTM no.621	95/90
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)			80/75
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D4791 perbandingan 1:5	Max 10%
Bahan lolos ayakan no.200		SNI 03-4142-1996	Max 1%

Sumber , Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

Tabel II .5 Spesifikasi Saringan Agregat Kasar

Ukuran Saringan		Persen Berat Yang Lolos Berat (%)
Mm	ASTM	
19,0	3/4	100
12,5	1/2	30 – 100
9,5	3/8	0 – 55
4,75	No.4	0 – 10
0,075	No.200	0 – 1

Sumber, Buku 3 Spesifikasi PPJ PU Bina Marga 2018

II.4.5 Agregat Halus

Agregat halus yang merupakan pasir alam atau penghancuran mesin industri melewati filter NO 4 (4,75) Agregat halus dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan mengunci antar partikel, agregat halus masih mengisi ruang antar partikel.

Tabel II. 6 Persyaratan Agregat Halus dan Metode Pengujian

No	Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Nilai sama dengan pasir	SNI 03-4428-1997	Minimal 50%
2	Bahan lolos saringan no.200	SNI 03-4428-1997	Maksimal 8%
3	Kadar lempung	SNI 3423 : 2008	Maksimal 15
4	Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93	Minimal 45
	Angularitas (kedalaman dari permukaan >10 cm)		Minimal 40

Sumber, Bina Marga 2010 Revisi 3

Tabel II .7 Spesifikasi Saringan Agregat Halus

Ukuran Saringan		Persen Berat Yang Lolos Berat (%)
Mm	ASTM	
9,50	3/8 “	100
4,74	No. 4	90 – 100
2,36	No. 8	80 – 100
0,60	No. 30	24 – 100
0,075	No. 200	3 – 11

Sumber, Buku 3 Spesifikasi PPJ PU Bina Marga 2018

II.4.6 Filler

Filler adalah bahan pengisi yang merupakan bahan berbutir yang sangat halus yang biasanya lolos filter no.200. filler berguna untuk meningkatkan viskositas aspal dan menurunkan sensitivitas suhu. Komposisi bahan pengisi dalam campuran dapat meningkatkan kestabilan campuran tetapi mengurangi kadar air kosong. Dengan demikian komposisi bahan pengisi dalam campuran dibatasi yaitu 4-10% dari volume beton aspal, jika kandungan bahan pengisi dalam campuran terlalu tinggi akan membuat campuran menjadi getas dan retak. di bawah beban lalu lintas dan jika kandungan pengisi terlalu rendah, campuran akan menjadi terlalu lunak dalam cuaca panas. (Yuniarti, n.d.)

1. Cangkang Kemiri

Kemiri (Auleritas moluaccana) merupakan salah satu pohon yang bijinya dimanfaatkan sebagai bumbu dan sumber minyak. Kemiri merupakan pohon yang bijinya dimanfaatkan sebagai bumbu masakan dan sumber minyak. Menurut Refiyan (2020), pelapisan lilin merupakan limbah yang mengandung kapur (CaO), alumina (Al₂O₃), silikon dioksida (SiO₂), air (H₂O), karbon magnesium oksida (MgO) dan besi oksida (Fe₂O₃).

cangkang kemiri dapat dimanfaatkan sebagai campuran aspal. Pasalnya dalam cangkang kemiri terkandung kapur (CaO) yang dimana kapur dalam campuran aspal panas (hotmix) menciptakan banyak manfaat diantaranya

adalah bertindak sebagai anti stripping agent yang dapat meningkatkan durabilitas atau keawetan kinerja campuran aspal dalam menerima repetisi beban lalu-lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air, atau perubahan temperature. Kapur juga dapat mempengaruhi kinerja campuran aspal dengan cara meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat. (Andri, Arief Setiawan dan Novita Pradani 2012).

Pemanfaatan limbah cangkang kemiri juga dapat mengurangi limbah yang ada. Center for Forestry and Forest Standards (2020) menyatakan bahwa mengintegrasikan teknologi hijau ke dalam aplikasi yang menggunakan bahan baku dapat mengurangi polusi.

Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian terhadap cangkang kemiri, karena cangkang kemiri biasanya hanya berupa limbah dan kurang mendapat perhatian dalam daur ulangnya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan cara memakai limbah cangkang kemiri sebagai campuran pengganti yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran aspal lapis AC-WC.



Gambar IV.4 Limbah Cangkang Kemiri

Tabel II. 8 Syarat Gradasi Filler

Pengujian	Standard	Nilai
Lolos ayakan no.200	SNI 03 M-02-1994-03	Minimal 75%
Tanpa bahan organik		Makx 4 %

Sumber, Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

II.5 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi partikel agregat dengan ukuran tertentu dalam campuran menentukan gradasi agregat. Penilaian para penilai dapat dikelompokkan menjadi nilai baik dan nilai buruk. Agregat yang mempunyai ukuran butirnya terbagi secara merata pada berbagai ukuran butir adalah agregat yang bergradasi baik. Agregat juga dikenal sebagai agregat bergradasi rapat, bergradasi baik memiliki sedikit ruang rongga, serta dengan mudah dipadatkan dan juga stabil yang tinggi. Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran partikel terbesar yang tersedia. Berdasarkan ukuran partikel pembentuk agregat yang dominan, agregat bergradasi baik dapat dibedakan menjadi:

1. Agregat bergradasi kasar adalah agregat bergradasi baik yang di mana memiliki ukuran yang berbeda mulai dari kasar hingga halus namun lebih dominan agregat kasar.
2. Agregat halus adalah agregat bergradasi baik dengan distribusi ukuran partikel kasar sampai halus yang menerus tetapi sebagian besar merupakan agregat halus.
3. Agregat Campuran yang buruk tidak memenuhi persyaratan campuran yang baik. Ada berbagai nama untuk hierarki himpunan yang dapat dikelompokkan ke dalam himpunan hierarki palsu, seperti :
 - a. Agregat bergradasi diklasifikasikan sebagai agregat yang hanya terdiri dari partikel-partikel agregat dengan ukuran yang sama atau kira-kira sama. Campuran agregat ini memiliki rongga antar partikel yang besar, sehingga sering disebut sebagai agregat terbuka. Kisaran

distribusi ukuran partikel yang ada pada agregat bergradasi seragam tersebar pada rentang yang sempit.

- b. Agregat bergradasi terbuka, adalah agregat dengan bermacam ukuran partikel sedemikian rupa sehingga rongga tidak terisi dengan baik.
- c. Agregat bergradasi senjang adalah agregat yang memiliki distribusi ukuran partikel yang terputus-putus, atau kehilangan sebagian kecil dari ukurannya.

Tabel II .9 Ketentuan Gradasi Agregat

Ayakan		Berat Lolos (%) AC – WC
No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	
1	25	
3/4	19	100
1/2	12,5	90 – 100
3/8	9,5	72 – 90
4	4,75	43 – 63
8	2,36	33 – 53
16	1,18	21 – 40
30	0,6	13 – 30
50	0,3	9 – 22
100	0,15	6 – 15
200	0,075	4 – 10

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

Dibawah ini adalah cara pengujian durabilitas, rutting roda dan kekuatan leleh aspal Marshall Test diantaranya.

1. Stabilitas (Stability)

Stabilitas ialah kelebihan lapisan kaku untuk menahan beban yang ditimbulkan oleh beban lalu lintas tanpa deformasi permanen. Nilai stabilitas dipengaruhi bentuk, tekstur permukaan, kualitas dan kadar agregat termasuk

kohesi, kohesi, gesekan antar partikel agregat (gesekan internal) dan fungsi Jumlah tanah aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas dari campuran. Nilai stabilitas akan meningkat dengan penambahan bitumen. Penambahan campuran aspal sampai batas maksimal akan menyebabkan nilai stabilitas menurun sehingga lapisan perkerasan menjadi keras dan getas.

$$\text{Stability} = O \times E' \times Q \dots\dots\dots(\text{II.1})$$

Dimana :

- Stability : Stabilitas Marshall (kg);
- O : Pembacaan arloji stabilitas (Lbf);
- E' : Angka korelasi volume benda uji;
- Q : Kalibrasi alat Marshall

2. Kelelahan (Flow)

Flow adalah besarnya regangan vertikal benda uji yang terjadi sejak awal pembebanan hingga kondisi stabilisasi maksimum benda uji hancur (dalam mm). Pengukuran aliran bertepatan dengan pengukuran stabilitas Marshall. Laju aliran dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu kadar aspal dan viskositas aspal, suhu, kadar dan derajat pemadatan. Nilai rendemen yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut lebih elastis dan mampu berubah bentuk di bawah beban, sedangkan nilai rendemen yang rendah menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki banyak rongga yang tidak terisi aspal, sehingga campuran tersebut cenderung retak.

3. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ). adalah hasil bagi Marshall adalah nilai yang mewakili kekerasan campuran. Jika nilai yang dihasilkan adalah MQ, maka campuran tersebut tergolong keras dan mudah retak. Sebaliknya, jika nilai MQ terlalu rendah cenderung menjadi lebih fleksibel dan kurang stabil. Hasil bagi MQ diperoleh dengan membagi nilai stabilitas leleh.

$$MQ = \frac{\text{Stability}}{\text{Flow}} \dots\dots\dots(\text{II.2})$$

Dimana:

Stabilitas : stabilitas marshall

Flow : kelelehan

4. Void In Mix (VIM)

Void In Mix (VIM). adalah total volume ruang udara terkandung di antara partikel agregat yang tertutup oleh campuran yang ada dan dinyatakan sebagai persentase volume vulkanisasi. Ruang dalam campuran atau rongga dalam campuran digunakan untuk menentukan jumlah rongga dalam campuran dalam persentase. Indeks VIM akan mempengaruhi durabilitas lapisan perkerasan.

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots (II.3)$$

Dimana :

- + VIM = Volume roongga dalam campuran (%)
- + G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran (gram)
- + G_{mb} = Berat jenis Bulk campuran (gram)

5. Void In Mineral Aggregate (VMA)

Void in mineral aggregate (VMA). adalah rongga udara yang terkandung di dalam agregat campuran yang dipadatkan. Ruang antara agregat mineral adalah volume rongga yang ada di antara partikel agregat campuran aspal padat, termasuk rongga yang mengandung aspal efektif dan dinyatakan sebagai persentase dari total volume subjek esai. The Asphalt Institute merekomendasikan bahwa nilai VMA aspal padat dihitung relatif terhadap kerapatan kering total agregat (Gravitasi Spesifik Curah Agregat). Penggunaan agregat bergradasi dan kandungan aspal yang rendah dapat meningkatkan VMA.

$$VMA = 100 \times \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots (II.4)$$

Dimana :

- + VMA: Volume Pori Antar Agregat dalam Campuran (%)
- + G_{mb} : Berat Jenis Bulk Campuran (gram)
- + P_s : Kadar Agregat (gram)
- + G_{sb} : Berat Jenis Bulk Dari Agregat (gram)

6. Void Filler In Bitument (VFB)

VFB (Void Filler in Bitumen). adalah persentase rongga antar partikel agregat yang terisi bitumen, jadi VFB adalah bagian dari VMA yang berisi bitumen, kecuali bitumen diserap oleh partikel individu agregat. Kriteria VFB memfasilitasi perencanaan campuran dengan menyediakan VMA yang dapat diterima. Efek utama dari kriteria VFB adalah untuk membatasi kandungan maksimum VMA dan campuran aspal maksimum. VFB juga dapat membatasi kandungan rongga yang diijinkan dari suatu campuran yang memenuhi kriteria VMA.

$$VFB = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \dots\dots\dots (II.5)$$

Dengan :

VFB : Volume Pori antar butir agregat (%)

VMA : Volume pori antar agregat dalam campuran (%)

VIM : Volume rongga dalam campuran (%)

II.6 Pengujian Cantabro

Cantabro adalah tes untuk menentukan kekuatan campuran aspal dengan analisis mesin Los Angeles. Mesin Los Angeles dimaksudkan untuk menentukan kehilangan berat spesimen setelah uji abrasi dilakukan pada spesimen. Pada pengujian Cantabro ini digunakan untuk mengetahui kekuatan ikatan dari bitumen dengan butiran-butir pada campuran beraspal dengan mesin Los Angeles tanpa menggunakan bola baja pada saat benda uji dimasukkan ke dalam mesin tersebut. Dengan pengujian ini bermaksud untuk mensimulasi abrasi lalu lintas yang akan terjadi di lapangan serta penurunan yang terjadi pada nilai aspal. Pada saat pengujian putaran mesin Los Angeles minimal 300 putaran dengan kecepatan antara 30-33 rpm. Adapun rekomendasi batas kehilangan abrasi adalah 20%.

II.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian berikut ini merupakan yang menjadi pedoman dalam penyusunan penelitian ini :

Meidia Refiyani (2019), yang melakukan penelitian pemanfaatan limbah cangkang kemiri dan terak tungku pada campuran AC-WC. Bertujuan untuk mengetahui ketahanan karakteristik nilai Marshall. Kesimpulan penelitian diperoleh nilai stabil setelah perendaman selama 30 menit, sebagian besar sifat campuran memenuhi syarat menurut standar umum Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2010 untuk 3 variasi :Variasi 1 (75 cangkang lilin, 25% cangkang tungku), variasi 2 (50 cangkang lilin dan 50% cangkang tungku), variasi 3 (25 cangkang lilin, 75% cangkang tungku) kecuali nilai porositas dalam agregat mineral (VMA) untuk opsi 1 dan opsi 2 tidak memenuhi persyaratan. Namun secara umum kombinasi cangkang lilin dan terak tungku dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus pada lapisan perkerasan AC-WC.

Kusmira Agustian (2021), yang melakukan penelitian untuk mengevaluasi sifat campuran AC-BC dengan menggunakan abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi alternatif bahan dasar Marshall. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi terhadap sifat stabilitas campuran aspal AC-BC. Disimpulkan bahwa hasil penelitian menunjukkan persentase abu cangkang lilin lebih tinggi. Pada campuran aspal AC-BC indeks lelehnya cenderung menurun. Hal ini menjelaskan mengapa pencampuran abu tempurung kemiri akan menjadikan lebih keras dan dapat meningkatkan kinerja permukaan jalan dalam menerima beban kendaraan.

Zainal Safariska dan Febriana Dian Kurniasari (2020), yang melakukan penelitian sebelumnya mengenai pengaruh cangkang kemiri sebagai alternatif filler pelapis komposit AC-WC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggantian abu cangkang kastanye sebagai bahan pengisi campuran aspal lapis AC-WC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang kastanye dapat meningkatkan nilai stabilitas, penggunaan abu cangkang kastanye sebagai bahan pengisi campuran aspal beton (AC-WC) dengan penambahan abu cangkang kemiri mulai dari 25%,50%,dan 100%.kajian ini mengacu pada spesifikasi bina marga 3 revisi 2010. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu kemiri dapat meningkatkan nilai stabilitas. Secara umum nilai

karakteristik yang memenuhi persyaratan bina marga (2014) terdapat pada komposisi bahan pengisi cangkang kemiri 25% pada kadar aspal 6,50%, nilai VIM3,70%, VMA 18,49%, aliran 3,30 mm dan stabilitas yaitu 1541,70 kg.

Jati purwanti, Tripuji lestari indra (2015), yang melakukan penelitian mengenai pengaruh pemanfaatan limbah cangkang kemiri dan beton sebagai pengganti agregat kasar terhadap peningkatan kestabilan campuran ac-bc. Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan cangkang kastanye dan skrap beton pada varian 5% cangkang kemiri dan 95% skrap beton serta pada varian 25% cangkang kenari dan 75% limbah beton dapat meningkatkan stabilitas ac-bc. mencampur. Pada varian cangkang kemiri 5% dan limbah beton 95% nilai stabilnya sebesar 3.561,88 kg, dan pada varian cangkang kemiri 25% dan limbah beton 75% nilai stabilnya adalah 2278,08. Nilai stabil minimum yang ditentukan untuk campuran aspal ac-bc adalah 800 kg.

Cut Nawalul Azka, Jurisman Amin, Shaheh Bukhari, Tamalkhani Syammaun (2022). Yang melakukan penelitian pengaruh substitusi low polyethylene dan abu cangkang kemiri dalam aspal AC-WC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penggantian bahan polietilen densitas rendah (LDPE) dengan permeabilitas aspal 60/70 dan penggunaan abu cangkang kemiri sebagai bahan pengisi pada campuran ac-wclaston. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar porositas agregat, maka semakin rendah pula massa jenis agregat tersebut, sehingga semakin rendah pula massa jenis maksimum campurannya, sedangkan semakin tinggi nilai porositas agregat maka semakin baik. kepadatan agregat tinggi. . semakin tinggi sintesisnya. Sintetis. agregat sehingga kepadatan maksimum campuran menjadi lebih besar. Rasio LDPE memiliki perbedaan yang beragam (ACK 50%:CP 50%) dan (ACK 75%:komputer 25%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin rendah nilai stabilitas maka persentase abu cangkang lilin semakin tinggi.

Armin,Zulharnah,Sudirman (2023).Yang Melakukan Penelitian Studi Penggunaan Limbah Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Campuran Aspal AC-WC. Yang melakukan penelitian dilakukan penelitian guna

mencari alternatif bahan campuran perkerasan jalan dengan beragam limbah, salah satu komponen limbah yang dimaksud adalah limbah cangkang kemiri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah cangkang kemiri sebagai substitusi pasir pada campuran aspal AC – WC. Dengan penambahan cangkang kemiri mulai dari 25%, 50%, 75% dan 100%. Penelitian ini penelitian ini mengacu pada spesifikasi Bina Marga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan cangkang kemiri dapat meningkatkan nilai stabilitas secara nilai yang memenuhi persyaratan Bina Marga terdapat pada variasi 25% pada kadar aspal 6,5%, nilai VIM 3,57 %, VMA 21,39%, VFB 83,4%, Stabilitas 1141,00 kg, Flow 3,83 mm dan nilai MQ 298,34 kg/mm. Dan untuk variasi 50 % cangkang kemiri meliputi nilai VIM 4,95%, VMA 21,11%, VFB 77,63% , Stabilitas 891,00, flow 3,90 mm, dan MQ 254,22 kg/mm. untuk pengujian cantabro atau abrasi semua variasi memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan, dari hasil penelitian ini semakin tinggi persentase dari variasi cangkang kemiri semakin melemah pulah nilai stabilitas yang didapat.

Wandrian Jeptanus Tamarron, Erdawaty, Mahyuddin (2023). Yang Melakukan Penelitian Studi Pengaruh Penggunaan Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Campuran AC-WC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan cangkang kemiri terhadap perkerasan jalan AC-WC dengan spesifikasi bina marga 2018. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kadar aspal 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; dan 7%, sedangkan variasi cangkang kemiri yang digunakan 0/100; 50/50; dan 100/0. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode marshall dan cantabro untuk mengetahui karakteristik campuran. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan cangkang kemiri pada variasi 50/50 mempunyai pengaruh yang turun dibandingkan variasi 100/0 terhadap karakteristik marshall seperti nilai stabilitas sebesar 802,38 kg, flow sebesar 2,75 mm, VFB sebesar 74,48%, VMA sebesar 16,37%, VIM sebesar 4,19% dan MQ sebesar 291,74 kg/mm dan nilai cantabro 5,620 pada variasi 50/50. Dengan demikian, campuran tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi bina marga 2018.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Program Studi Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar, Jl. Prof. Abdurahman Basalamah (ex Racing Center) No.101, Karampuang, Panakukkang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia. Pada Februari-Maret 2024.

III.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan yaitu :

III.2.1 Alat

Berikut alat-alat yang digunakan, antara lain:

1. Automatic asphalt compactor
2. Ayakan dengan nomor saringan $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, #4, #8, 16, 30, 50, 100, 200, Pan.
3. Mesin penggetar saringan (Sieve Shaker).
4. Oven.
5. Timbangan .
6. Alat uji berat jenis (picnometer, timbangan, pemanas).
7. Ejektor.
8. Wajan pencampur.
9. Kompor.
10. Termometer.
11. Sendok pengaduk.
12. Kaos tangan.
13. Mesin pengujian *Marshall*.
14. Mesin loss angeles.

III.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan, antara lain:

1. Agregat cipping.
2. Agregat pasir.
3. Filler, dalam hal ini menggunakan Limbah Cangkang Kemiri.
4. Aspal AC Penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat.

III.3 Metode Pengumpulan Data

Pada metode pengumpulan data sebagai acuan terhadap penelitian ini, maka menggunakan metode berikut ini:

1. Studi pustaka agar memperoleh data yang bersifat sekunder yaitu, dengan membaca buku-buku hasil penelitian, artikel ilmiah sebagai landasan teori sebagai kelengkapan penelitian ini.
2. Pemeriksaan sampel dilaksanakan di laboratorium untuk mendapatkan data primer yang digunakan untuk menganalisa hasil penelitian yang telah dilakukan.

III.4 Pelaksanaan Penelitian

Berikut ini tahap-tahap pelaksanaan penelitian adalah :

III.4.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Kegiatan penelitian ini diawali dengan tahap penelitian pendahuluan, khususnya kegiatan yang meliputi penelaahan dokumen, permasalahan yang timbul selama proses penelitian, menentukan tujuan dari permasalahan yang timbul dalam proses penelitian, menentukan dari tujuan ruang lingkup penelitian. Program penelitian dan pengembangan penelitian ini untuk membahas temuan pada akhir penelitian dilakukan.

1. Tahap persiapan bahan

Kegiatan penelitian ini dimulai dari tahap persiapan yaitu pengumpulan data berupa data primer yang diperoleh dari hasil percobaan yang dilakukan peneliti, sedangkan data sekunder dapat diambil dari dokumen terutama majalah tetapi bukan buku.

2. Tahap persiapan alat dan bahan

Sebelum melaksanakan kegiatan dilakukan penelitian terlebih dahulu untuk mempersiapkan alat dan bahan yang akan dipelajari di laboratorium. Kegiatan tersebut meliputi kegiatan penyelidikan lokasi bahan yang akan digunakan, kegiatan pengangkutan bahan dari lokasi pengangkutan bahan ke laboratorium.

III.4.2 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Bahan

1. Pengujian Material Agregat

Pengujian Material ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik yang dimiliki oleh agregat yang akan digunakan pada campuran benda uji. Material agregat yang telah memenuhi standar sifat fisik yang akan digunakan pada pembuatan material. tahapan dalam menguji karakteristik Agregat dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel III .1 Metode Karakteristik Agregat

Pengujian	Metode Pengujian	
	Agregat Kasar	Agregat Halus
Analisa Ayakan	SNI 03- 1968-1990	
Berat Jenis dan Penyerapan	SNI 03- 1969- 2008	SNI 03-1970-2008
Kadar Lumpur	SNI 03- 41420-1996	
Kausan Agregat Kasar Dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417-1996	
Indeks Kepipihan	SNI 03 - 4137- 1996	
Sand Equivalent	SNI 03- -1997	

Sumber, Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3

2. Pengujian karakteristik bahan

Setelah pengujian material yang telah memenuhi spesifikasi untuk campuran maka Langkah selanjutnya membuat susunan campuran untuk pembuatan benda uji ,komposisi campuran yang digunakan didalam campuran penelitian ini adalah komposisi campuran yang mengacu pada

spesifikasi bina marga 2010 (revisi 3) yang menggunakan agregat yang lolos saringan 1, $\frac{3}{4}$ tertahan saringan $\frac{1}{2}$ dan lolos saringan $\frac{1}{2}$ tertahan saringan $\frac{3}{8}$, dan No 4 dengan perbandingan 50:50 agregat halus yang lolos pada saringan No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, dan No 200 komposisi yang digunakan sebanyak 10 %.

Tabel III .2 Jumlah Benda Uji

NO	Variasi Benda Uji	Pengujian Marshall	Pengujian Cantabro
1	10%	3	3
2	20%	3	3
3	30%	3	3
	Keseluruhan		18

Gradasi SNI : Saringan No.#1,# $\frac{3}{4}$,# $\frac{1}{2}$,# $\frac{3}{8}$,#4,#8,#16,#30,#50,#100,#200 Pengujian yang akan di lakukan yakni lapisan tipis (lataston) meliputi komposisi campuran serta pengujian benda uji lapisan tipis beton.setelah itu pengujian bahan material dan memenuhi spesifikasi ini adalah komposisi campuran yang akan mengacu pada ketentuan gradasi Standar Nasional Indonesia (SNI).

III.4.3 Pembuatan Benda Uji

Adapun pembuatan benda uji dengan menggunakan Langkah-langkah sebagai berikut.

1. Memepersiapkan komposisi variasi campuran yang telah ditentukan (10% 20% 30%).
2. Memanaskan agregat kasar, agregat halus, filler dan Cangkang Kemiri sampai suhu mencapai 145 C – 150 C dan juga memanaskan aspal penetrasi 60/70 sampai 90 C.
3. Setelah mencapai suhu tertentu maka campurkan agregat dengan aspal minyak diatas penggorengan aspal.

4. Lalu padatkan campuran dengan *marshall compation*. pada suhu $\pm 120^{\circ}\text{C}$ tambahkan kertas yang telah digunting atas bawah pada campuran serta ditumbuk sebanyak 2×75 .
5. Yang terakhir keluarkan benda uji dengan menggunakan dongkrak.

III.4.4 Pengujian Pada Benda Uji

Pengujian pada benda uji ini merupakan metode pengujian karakteristik marshall. Metode pengujian ini akan dilakukan pada benda uji yang bersifat briket yang merupakan pengujian mekanisme didalam menerima beban statis yang diberikan . serta metode ini dapat dilakukan dan dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel III. 3 Metode Pengujian Karakteristik

Jenis Pengujian	Metode Pengujian
<i>Marshall</i>	SNI 06 - 2489 -1991
<i>Cantabro</i>	SNI 03 - 2417 -1991

Sumber, Spesifikasi Bina marga 2010 revisi 3

1. Uji Marshall

a. Spesifikasi Ukuran Alat Marshall

Alat marshall Merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (500 lbf) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow.benda uji marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm). prosedur pengujian marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau ASTM D 1559-76.

b. Cara pengujian *marshall* dapat dilakukan sebagai berikut :

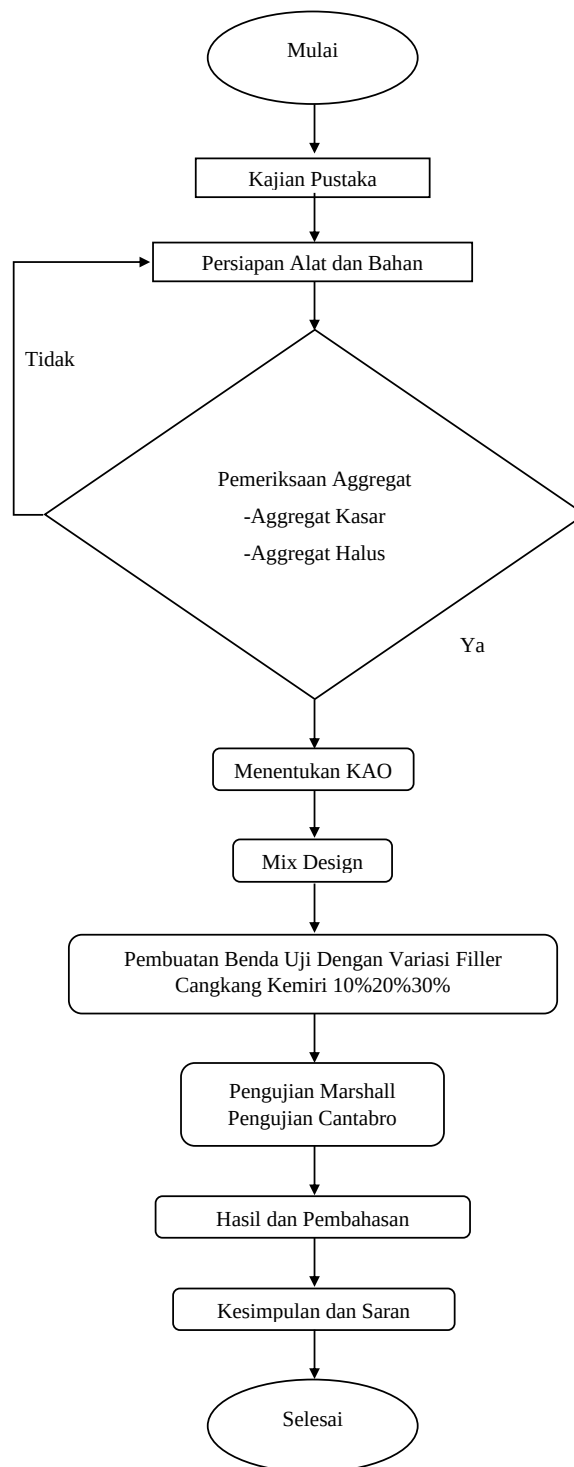
1. Timbang dan catat briket benda uji.
2. Rendam benda uji kedalam air Kedalaman air ± 24 jam
3. Setelah di rendam benda uji dikeluarkan dari perendaman ,kemudian timbang benda uji didalam air dengan keadaan kering pada permukaan
4. Rendam benda uji dalam bak perendam selam 30-40 menit dengan suhu tetap 60°C

5. Keluarkan benda uji dari bak perendam dan di simpan kedalam segmen bahwa kepala penekan (waktu yang di perlukan pada saat diangkatnya benda uji dari bak perendaman atau oven sampai tercapainya beban maksimal tidak boleh melebihi 30 detik).
 6. Memasang segmen ata diatas benda uji, serta diletakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
 7. Memasang arloji pengukur air (flow) pada kedudukannya diatas salah satu batang penutup dan kemudian atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*). dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
 8. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan sehingga menyentuh atas cincin penguji.
 9. Mengatur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
 10. Pembebanan dilakukan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang di lakukan jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (*stability*). yang dicapai.
 11. Catat nilai alir (*flow*). yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.
2. Uji Cantabro
- Diamkan benda uji (sampel) terlebih dahulu selama kurang lebih 48 jam kemudian dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat sebelum di abrasi kemudian masukkan sampel ke dalam mesin los angeles tanpa menggunakan bola baja. Kemudian atur putaran mesin los angeles dengan 300 putaran dengan kecepatan antara 30-33 rpm. Setelah selesai keluarkan benda uji kemudian ditimbang untuk dapat diketahui berapa berat nilai kehilangan dari benda uji.

III.4.5 Analisi Data

Pada penelitian ini analisis data data yang diperoleh dari hasil pengujian yang disajikan dalam tabel, grafik dan gambar yang kemudian dilakukan analisis .adapun tujuan analisa data pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai karakteristik dan nilai abrasi.

III.5 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Uji Karakteristik Material

IV.1.1 Hasil Uji Sifat Fisik Agregat

Sesuai dengan hasil pada pengujian karakteristik fisik agregat yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi syarat dalam pengujian mutu agregat secara menyeluruh. Proses pengujian telah dilakukan di lab Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Fajar.

IV.1.2 Sifat Fisik Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang berasal dari Stone Crusher yang terletak di Jalan Malino, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Hasil pengujian dari sifat fisik agregat kasar dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Berikut dapat dilihat hasil pengujian pada tabel IV.1:

Tabel IV .1 Sifat – Sifat Fisik Agregat Kasar

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maksimal 3	1.63	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)			
	1. Berat Jenis Bulk	Maksimal 3	2.75	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maksimal 3	2.8	Memenuhi
	3. Berat Jenis Semu	Maksimal 3	2.88	Memenuhi
3	Keausan (%)	Maksimal 40	30.28	Memenuhi
4	Indeks Kepipihan	Maksimal 30	24.8	Memenuhi

IV.1.3 Sifat Fisik Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang lolos pada ayakan No.8, 16, 30, 50, 100, dan tertahan di saringan no .200, yang berasal dari Stone Crusher yang terletak di Jalan Malino, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Hasil pengujian dari sifat fisik agregat kasar dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Dengan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel IV. 2 Sifat – Sifat Fisik Agregat Halus

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maksimal 3	1.22	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)			
	1. Berat Jenis Bulk	Maksimal 3	2.58	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maksimal 3	2.61	Memenuhi
	3. Berat Jenis Semu	Maksimal 3	2.67	Memenuhi
3	Persen Lumpur (%)	Maksimal 5	1.5	Memenuhi

IV.2 Pengujian Kadar Aspal Optimal

Pengujian kadar aspal optimal dilaksanakan dengan tujuan untuk mencapai kadar aspal yang digunakan memenuhi standar kinerja keseluruhan dan kadar aspal yang memberikan stabilitas tinggi. Nilai variasi kadar aspal optimal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

IV.2.1 Pengujian Marshall

Dari proses pengujian menghasilkan nilai untuk mengetahui nilai parameter Marshall berupa VIM, VMA, VFB, Stabilitas, Flow, dan Marshall Question (MQ) menggunakan gradasi SNI.

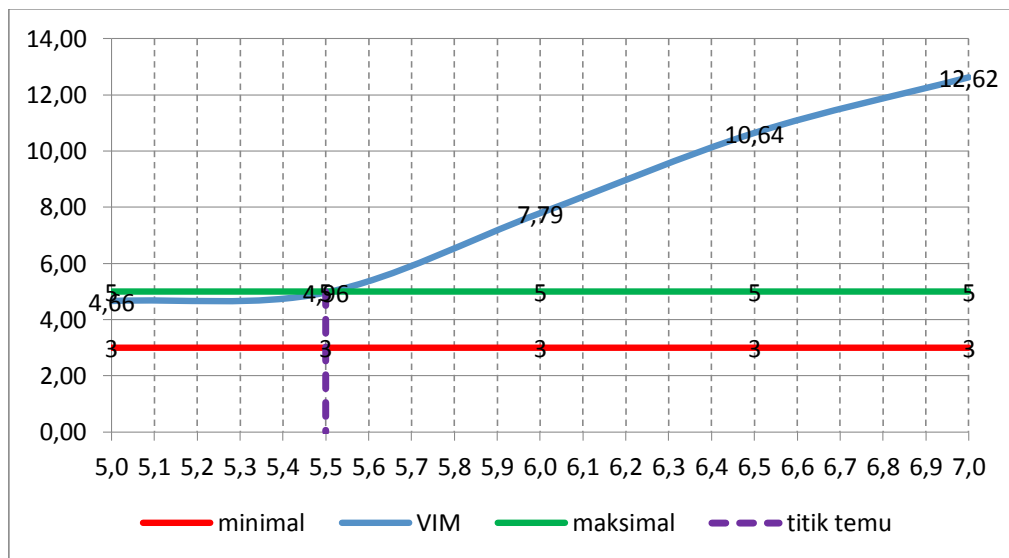
Tabel IV. 3 Hasil Pengujian Marshall

VARIASI KADAR ASPAL	5	5,5	6	6,5	7
VIM	4,66	4,96	7,79	10,64	12,62
VMA	14,47	15,66	19,04	22,39	24,93
VFB	67,78	68,30	59,16	52,52	49,37
STABILITAS	965,81	961,28	660,67	535,87	977,68
FLOW	3,15	3,10	2,27	2,13	2,89
MQ	306,61	310,08	280,74	268,40	338,98

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA

1. VIM

VIM (voids in Mixture). adalah banyaknya rongga yang terdapat pada campuran beraspal, dan dinyatakan dalam bentuk % terhadap total campuran. Berdasarkan spesifikasi, syarat nilai minimal 3% dan maksimal 5%.berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai VIM dengan Variasi kadar aspal dilihat pada gambar IV.1



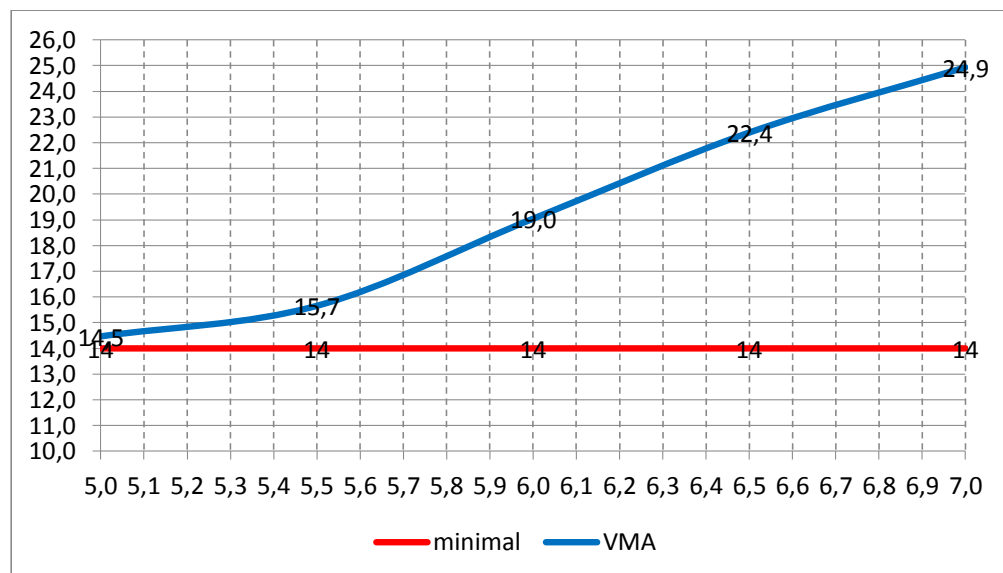
Gambar IV. 1 Nilai Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan gambar IV.1 menunjukkan bahwa terdapat kenaikan dari nilai VIM dengan kadar aspal 5% dengan nilai 4,66% sampai kadar aspal 5,5% dengan nilai 4,96% telah memenuhi spesifikasi, namun dengan terus bertambahnya kadar aspal pada 6% dengan nilai 7,79%, kadar aspal 6,5%

dengan nilai 10,64% dan kadar aspal 7% dengan nilai 12,62% terus mengalami kenaikan di luar batas maksimal VIM, berdasarkan nilai yang didapat kadar aspal yang memenuhi spesifikasi bina marga yaitu kadar aspal 5% sampai 5,5%.

2. VMA

VMA (Voids in Material). adalah nilai pori pada agregat campuran, Indeks VMA rongga antar partikel agregat dalam aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Nilai VMA juga dapat dinyatakan sebagai rongga yang dapat ditempati oleh volume aspal dan udara yang dibutuhkan dalam campuran agregat dan aspal. Nilai VMA dipengaruhi oleh ukuran partikel agregat, jumlah tumbukan dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai VMA maka semakin besar pengaruh impermeabilitas dan ketahanan campuran terhadap air dan udara, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan risiko bleeding saat perkerasan dibebani pada temperatur tinggi. Nilai VMA yang terlalu rendah akan membuat lapisan aspal lebih kecil kemungkinannya untuk berikatan dengan aspal, sehingga terjadi fraying, pitting, dll. terjadi dengan mudah. Menurut standar spesifikasi jalan raya, nilai spesifikasi VMA yang di dapat harus di atas 14%. Lihat pada Gambar IV.2

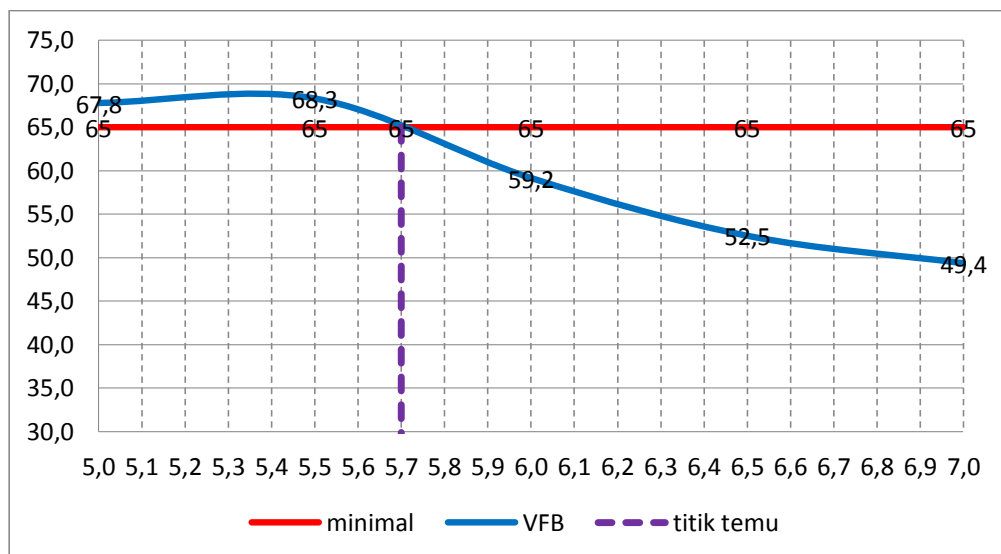


Gambar IV. 2 Nilai VMA Terhadap Variasi Kadar Aspal

Pada gambar IV.2 Menunjukkan bahwa semua hasil VMA variasi kadar aspal yang dimana semua variasi telah memenuhi persyaratan bina marga dengan nilai minimal 14%.

3. VFB

VFB adalah jumlah rongga yang terisi aspal, jadi VFB adalah bagian dari VMA yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang terserap partikel agregat individu. Efek dari nilai VFB ini adalah kekuatan ikatan komposit di dalam komposit, yang jika lebih kecil akan membuat lapisan kurang permeabel terhadap air dan udara, karena lebih banyak rongga. Hal ini akan memungkinkan air dan udara lebih mudah melarutkan bagian aspal yang teroksidasi. sehingga mengurangi kekuatan campuran, tetapi jika terlalu besar menunjukkan bahwa banyak celah yang diisi dengan aspal, sehingga impermeabilitas aspal campuran dengan air dan udara menjadi lebih tinggi. Namun nilai VFB yang terlalu tinggi kemungkinan akan menyebabkan aspal mengalami bleed atau naik ke permukaan, sehingga nilai stabilitasnya akan menurun. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai VFB diantaranya ukuran partikel agregat, kadar aspal, jumlah pemadatan dan suhu. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, nilai spek VFB yang dibutuhkan minimal 65%. Berikut hasil pengujian VFB pada Gambar IV.3.

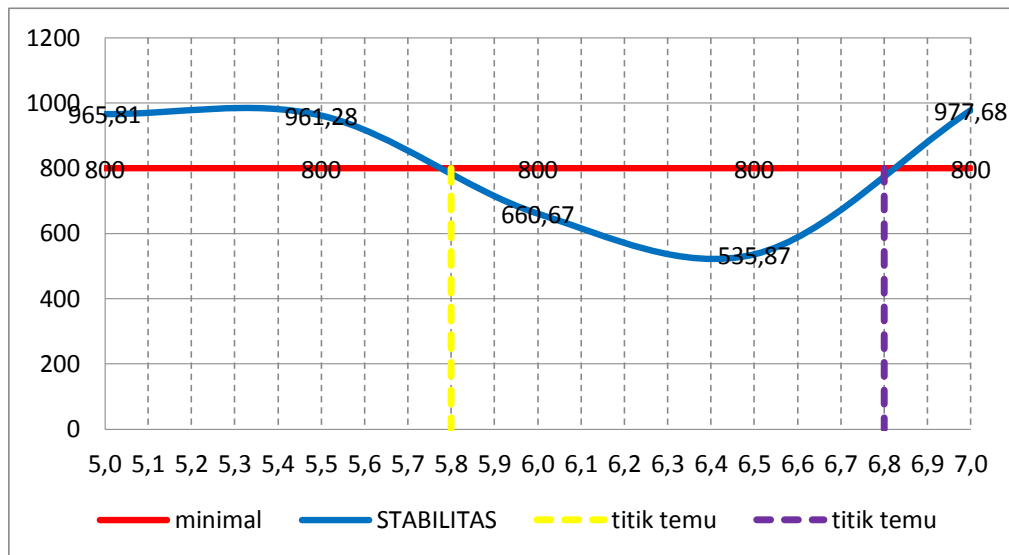


Gambar IV . 3 Nilai VFB Terhadap Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan gambar IV. 3 nilai rata rata VFB pada variasi kadar aspal 5% dengan nilai 67,8% dan kadar aspal 5,5% dengan nilai 68,3% terus mengalami kenaikan, namun pada kadar aspal 6% dengan nilai 59,2%, kadar 6,5% dengan nilai 52,5%, dan kadar 7% dengan nilai 49,4% terus mengalami penurunan dari batas minimal VFB .berdasarkan data tersebut kadar aspal yang memenuhi spesifikasi mulai dari kadar aspal 5% sampai 5,5%.

4. STABILITAS

Stabilitas adalah kekuatan suatu lapisan perkerasan dalam menahan perubahan bentuk akibat beban lalu lintas, tanpa mengalami deformasi seperti gelombang atau alur. Tingginya nilai stabilitas mengindikasikan bahwa lapisan perkerasan tersebut memiliki kemampuan untuk menanggung beban lalu lintas yang berat. Dalam pengujian laboratorium menggunakan metode Marshall, stabilitas mengacu pada kemampuan bitumen (bahan pengikat) untuk menahan beban hingga mencapai titik leleh plastik, diukur dalam satuan kilogram. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh faktor seperti interlocking batuan (gesekan internal) dan gaya rekatnya. Gesekan internal terkait dengan tekstur permukaan, ukuran partikel agregat, kepadatan campuran, dan kandungan aspal. Stabilitas yang terlalu tinggi dapat membuat perkerasan menjadi keras dan mudah retak, sementara stabilitas yang rendah akan membuatnya lebih fleksibel dan rentan terhadap pembentukan alur. Menurut spesifikasi SNI, nilai stabilitas minimum yang diperlukan adalah 850 kg. Berikut adalah hasil uji stabilitas pada Gambar IV.4.



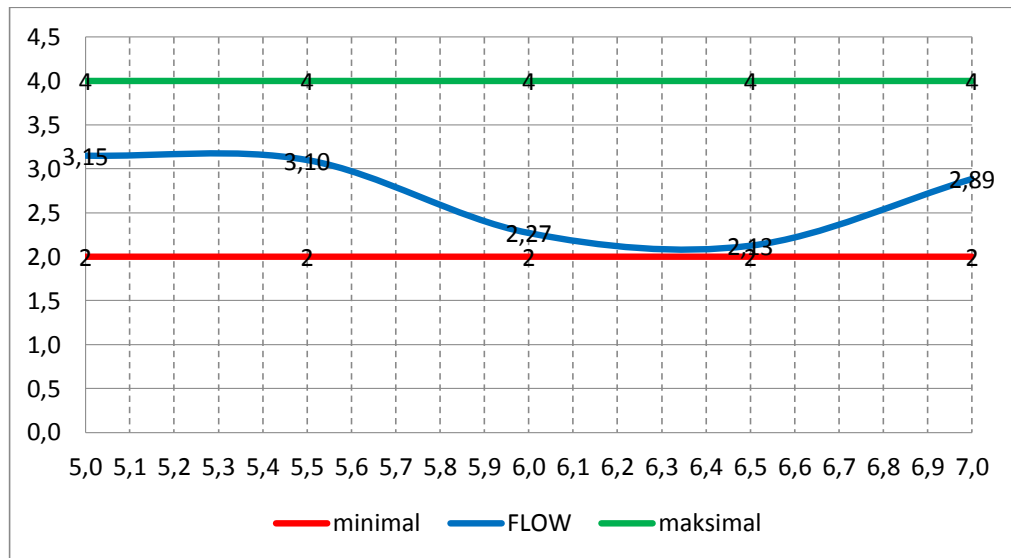
Gambar IV. 2 Nilai Stabilitas Terhadap Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan pada gambar IV.4 menunjukkan bahwa hasil dari variasi kadar aspal pada 5% dengan nilai 965,81 kg, kadar aspal 5,5% dengan nilai 961,28 kg, mengalami kenaikan, namun pada kadar aspal 6% dengan nilai 660,69 kg, kadar aspal 6,5% dengan nilai 535,89 kg mengalami penurunan stabilitas, dan pada kadar aspal 7% dengan nilai 977,68 kg mengalami kenaikan stabilitas. Yang dimana variasi kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah kadar aspal 5%, 5,5%, dan 7%.

5. FLOW

Kelelehan (flow) adalah Keadaan perubahan bentuk campuran yang terjadi karena beban yang diterapkan pada batas keruntuhan, diukur dalam satuan panjang (mm), disebut kelelehan atau aliran. Plastisitas campuran mengacu pada plastisitas lapisan perkerasan, dan laju leleh dipengaruhi terutama oleh plastisitas aspal. Ketika campuran aspal memiliki plastisitas rendah, ia akan membentuk lapisan permukaan. Gula juga memiliki tingkat keuletan yang rendah. Campuran dengan aliran rendah yang memiliki stabilitas tinggi cenderung memiliki sifat keras, sehingga rentan terhadap retak jika dikenai beban yang melebihi kapasitas dukungnya. Sebaliknya, campuran dengan nilai fluks tinggi dan stabilitas rendah cenderung lebih elastis dan mudah berubah bentuk saat dikenai beban aliran. Faktor-faktor seperti ukuran partikel agregat,

kadar aspal, massa, dan suhu pemadatan mempengaruhi nilai laju alir. Spesifikasi menetapkan rentang yang diperlukan untuk laju alir antara 2,0 hingga 4,0 mm. Gambar IV.5 dapat dilihat sebagai berikut.



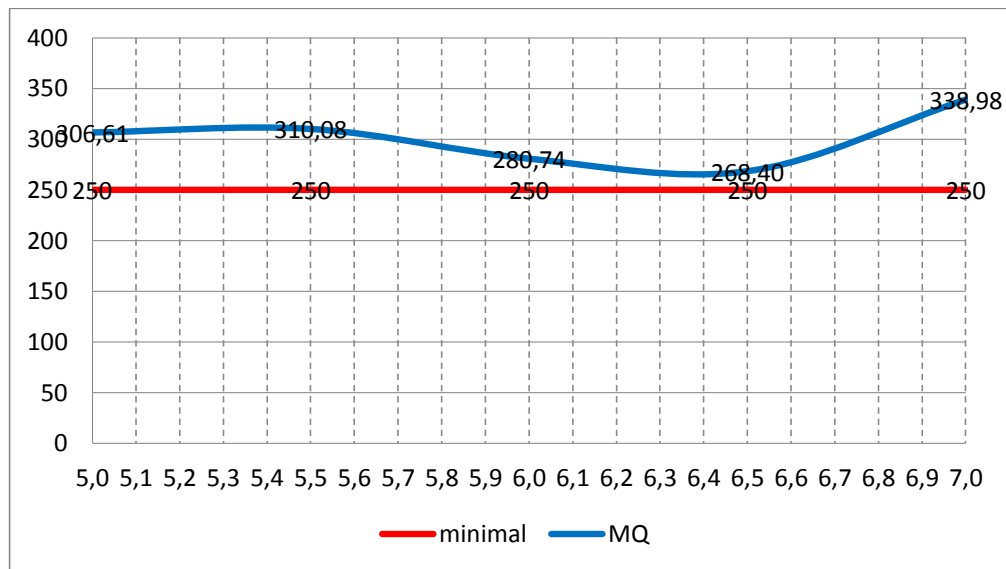
Gambar IV. 3 Hasil Pengujian Flow Terhadap Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan hasil Pengujian pada gambar IV.5 nilai flow pada variasi kadar aspal 5% dengan nilai 3,15 mm, kadar 5,5% dengan nilai 3,10 mm mengalami kenaikan, dan pada kadar 6% dengan nilai 2,27 mm, 6,5% dengan nilai 2,13 mm, mengalami penurunan, namun tetap memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dan pada kadar aspal 7% dengan nilai 2,89 mm mengalami kenaikan. yang dimana semua variasi yang ada telah memenuhi spesifikasi bina marga.

6. MQ

Marshall Quotient adalah Nilai hasil bagi antara stabilitas dan throughput. Penggunaan nilai Marshall Quotient bertujuan untuk mengestimasi tingkat keuletan perkerasan. Ketika stabilitas tinggi dikombinasikan dengan throughput yang rendah, perkerasan akan memiliki sifat keras dan rapuh. Di sisi lain, stabilitas yang rendah dan throughput yang tinggi mengindikasikan bahwa campuran tersebut lebih elastis, dan jika dikenai beban lalu lintas, perkerasan akan mengalami perubahan bentuk. Nilai Marshall Quotient minimal yang

sesuai dengan spesifikasi adalah 250 kg/mm. Informasi lebih lanjut dapat ditemukan pada Gambar IV.6.

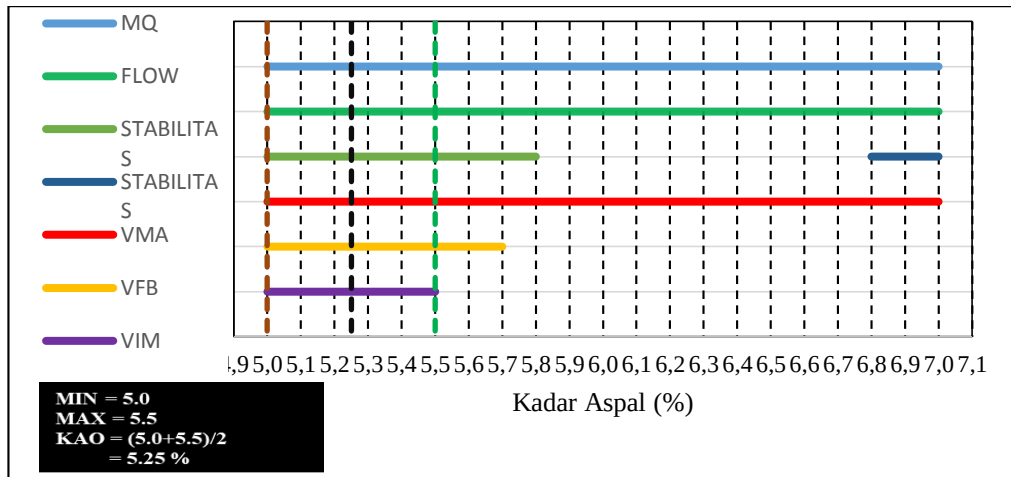


Gambar IV. 4 Hasil MQ Terhadap Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar IV.6 Nilai rata rata variasi kadar aspal yaitu 5% dengan nilai 306,61 Kg/mm, kadar aspal 5,5% dengan nilai 310,08 Kg/mm, mengalami kenaikan namun pada kadar aspal 6% dengan nilai 280,74 Kg/mm, dan kadar 6,5% dengan nilai 268,40 Kg/mm mengalami penurunan, namun tetap memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan dan pada kadar aspal 7% dengan nilai 338,98 Kg/mm mengalami kenaikan. Dengan demikian menunjukkan bahwa semua kadar aspal telah memenuhi spesifikasi nilai minimalnya.

Dari beberapa gambar kurva hubungan antara parameter marshall dengan kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum diatas, maka diperoleh hasil seperti dibawah ini:

Tabel IV. 4 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum



Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024.

Dari Tabel IV.5 dapat kita simpulkan bahwa hasil pengujian kadar aspal optimum dari parameter marshal namun ada beberapa karakteristik yang tidak masuk standar spesifikasi yang digunakan. pada karakteristik nilai VIM semua kadar aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi. pada karakteristik VMA semua kadar aspal yang digunakan memenuhi syarat spesifikasi. Pada karakteristik VFB kadar aspal yang memenuhi spesifikasi mulai dari 5% sampai 5,5% sedangkan 6% sampai 7% tidak memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik FLOW semua kadar aspal yang digunakan semuanya memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik STABILITAS kadar aspal yang memenuhi spesifikasi 5% sampai 5,5% sedangkan kadar aspal 6% sampai 7% tidak memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik MQ semua kadar aspal yang digunakan memenuhi persyaratan spesifikasi.

Dan ketentuan dari nilai tengah kadar aspal optimum dari pengujian yang kita lakukan dengan cara seperti yang ada pada rumus dibawah ini :

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{5,0+5,5}{2} = 5,25 \%$$

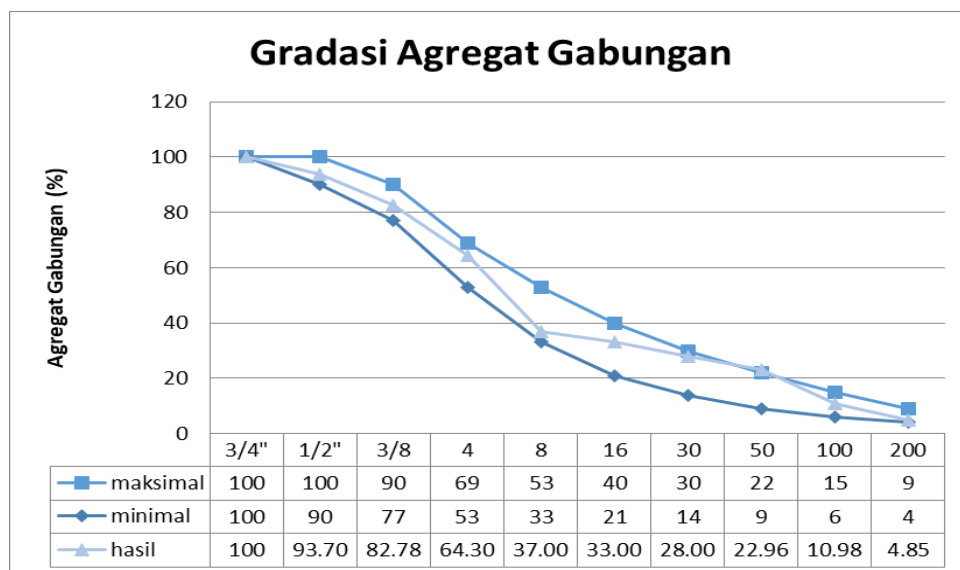
Seperti hasil perhitungan nilai tengah diatas, maka nilai kadar aspal optimum yang digunakan pada penelitian yaitu 5,25%.

IV.3 Gradasi Gabungan

Penentuan gradasi gabungan agregat berdasarkan pada spesifikasi umum Bina Marga.

Tabel IV. 5 Gradasi Gabungan Agregat

SIEVE NOMOR		3/4	1/2	3/8	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
BATU PECAH	% PASS	100.00	90.00	72.67	43.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	% BATCH	63	56.70	45.78	27.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PASIR	% PASS	100	100	100	100	100.00	80.00	55.00	35.00	25.00	11.00
20	% BATCH	20	20	20	20	20	16.00	11.00	7.00	5.00	2.20
DEBU BATU	% PASS	100	100	100	100	100.00	100.00	100.00	93.90	35.20	15.60
17	% BATCH	17	17	17	17	17	17	17	15.96	5.98	2.65
AGREGAT GABUNGAN		100	93.70	82.78	64.30	37.00	33.00	28.00	22.96	10.98	4.85
SPESIFIKASI		100	90-100	77-90	53-69	33-53	21-40	14-30	9-22	6-15	4-9



Gambar IV. 5 Kurva Grafik Gabungan Agregat

Setelah dilakukan pengayakan untuk penentuan komposisi antara agregat kasar, agregat halus dan abu batu berdasarkan komposisi untuk masing masing ukuran saringan yang digunakan sesuai dengan spesifikasi bina marga maka di hasilkan nilai seperti yang di dapat diperhatikan tabel diatas. Diperoleh nilai presentase antara agregat kasar : halus : filler yaitu 63% : 20% : 17% untuk komposisi agregat untuk, baik agregat kasar, agregat halus maupun filler yang digunakan yaitu agregat yang tertahan di masing masing saringan kemudian dipisah pisahkan sesuai dengan ukuran saringan dari spesifikasi yang digunakan.

IV.4 Pengujian Marshall

Hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai parameter Marshall berupa VIM, VMA, VFB, STABILITAS, FLOW, dan MARSHALL QUESTION (MQ) menggunakan gradasi SNI. Berikut hasil pengujian marshall menggunakan limbah cangkang kemiri.

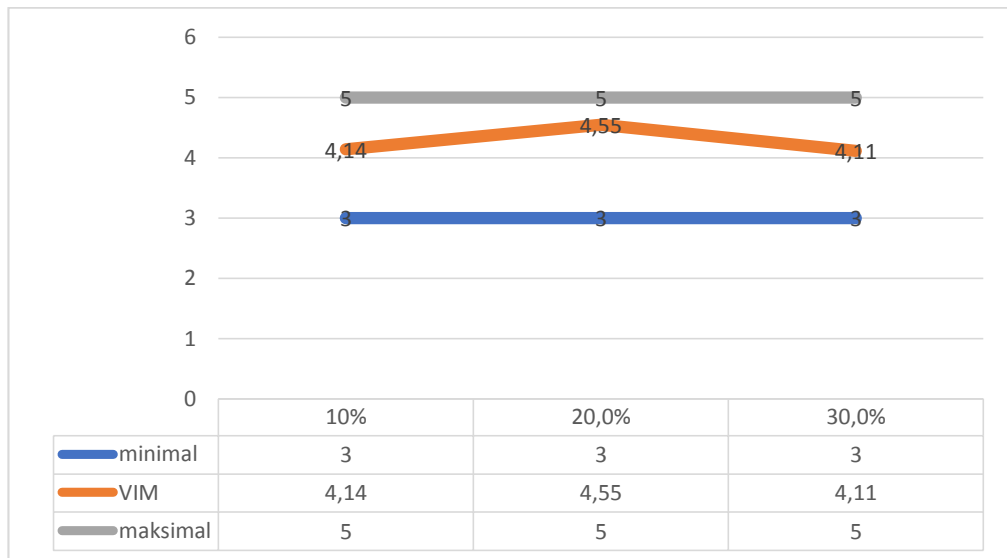
Tabel IV. 6 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Filler Limbah Cangkang Kemiri

Varasi Subtitusi	kadar Aspal	No. Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall					
			VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
10%	5.25%	1	5.85	15.75	62.87	1085.00	3.15	344.44
	5.25%	2	2.20	12.49	82.36	775.00	3.05	254.10
	5.25%	3	4.37	14.42	69.72	806.00	3.10	260.00
Rata-rata			4.14	14.22	71.65	888.67	3.10	286.18
20.0%	5.25%	1	4.17	14.25	70.71	837.00	2.80	298.93
	5.25%	2	5.95	15.84	62.42	806.00	2.73	295.24
	5.25%	3	3.52	13.66	74.25	961.00	2.72	353.31
Rata-rata			4.55	14.58	69.13	868.00	2.75	315.83
30.0%	5.25%	1	6.57	16.40	59.91	1128.40	2.70	417.93
	5.25%	2	3.87	13.98	72.33	1302.00	2.55	510.59
	5.25%	3	1.90	12.22	79.86	1023.00	2.40	426.25
Rata-rata			4.11	14.20	70.70	1151.13	2.55	451.59

Sumber : Hasil Pengujian dan Penelitian Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA

1. VIM

VIM (voids in Mixture) adalah banyaknya rongga yang terdapat pada campuran beraspal, dan dinyatakan dalam % terhadap total campuran. Berdasarkan spesifikasi, nilai VIM yang disyaratkan yaitu minimal 3% dan maksimal 5%. berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai VIM dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada gambar IV.8



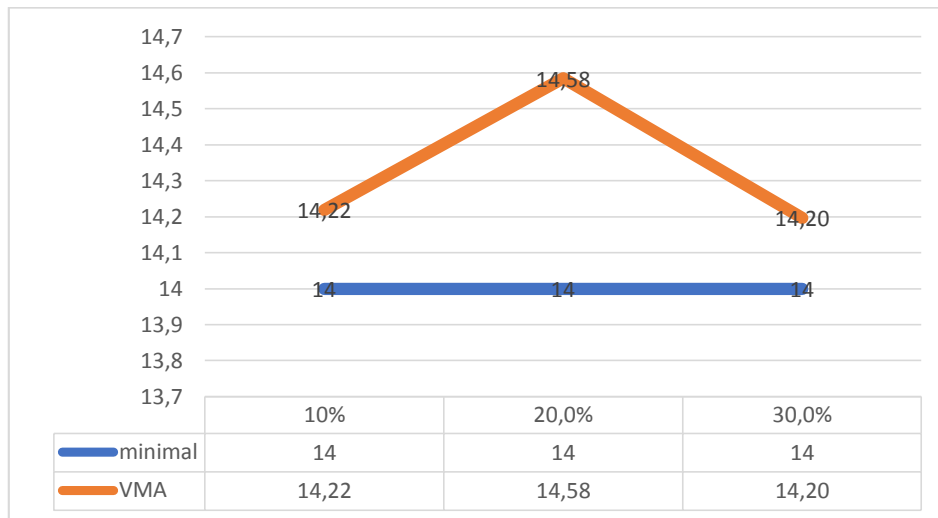
**Gambar IV. 8 Hasil VIM Terhadap Variasi Filler Limbah
Cangkang Kemiri**

Berdasarkan pada gambar di atas yang merupakan hasil perhitungan menggunakan variasi substitusi filler limbah cangkang kemiri yaitu 10% dengan nilai sebesar 4,14%, 20% dengan nilai sebesar 4,55%, dan 30% dengan nilai sebesar 4,11% yang dimana semua data yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh karena itu limbah cangkang kemiri layak digunakan berdasarkan pada hasil nilai VIM.

2. VMA

VMA, (Voids in Material Agregat). adalah Nilai Pori pada Campuran Agregat yang menunjukkan banyaknya rongga antar partikel agregat dalam aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Nilai VMA juga dapat dinyatakan sebagai ruang yang tersedia yang ditempati oleh volume aspal dan udara yang dibutuhkan dalam campuran agregat dan aspal. Nilai VMA dipengaruhi oleh ukuran partikel agregat, jumlah tumbukan dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai VMA maka semakin besar pengaruh impermeabilitas dan ketahanan campuran terhadap air dan udara, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan risiko bleeding saat perkerasan dibebani pada temperatur tinggi. Nilai VMA yang terlalu rendah akan membuat lapisan aspal lebih kecil kemungkinannya untuk berikatan dengan aspal, sehingga terjadi

fraying, pitting, dll. terjadi dengan mudah. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, nilai spek VMA yang dibutuhkan minimal 14%. Lihat pada Gambar IV.9



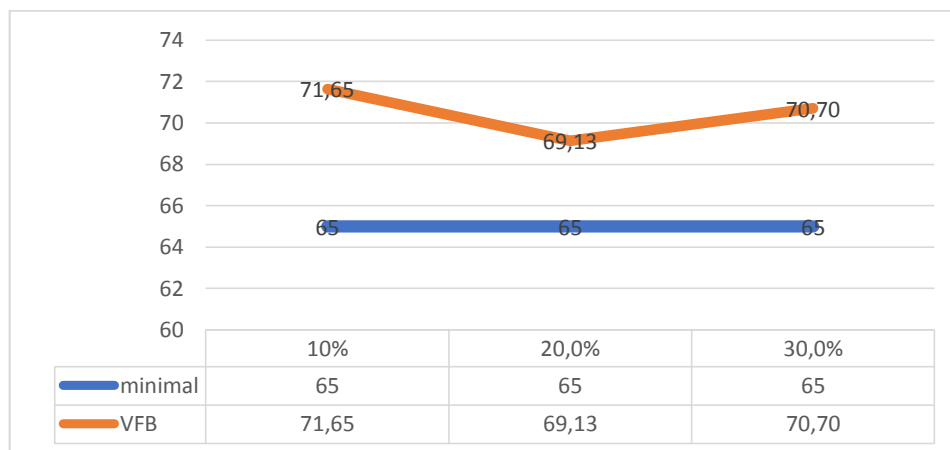
Gambar IV. 6 Hasil VMA Terhadap Variasi Filler Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan dengan gambar IV.9 pada variasi substitusi filler limbah cangkang kemiri diperoleh nilai variasi pada 10% dengan nilai 14,22%, 20% dengan nilai 14,58%, dan 30% dengan nilai 14,20% dari gambar menunjukkan bahwa rongga udara diantara agregat membesar dan mengecil, karena sebagian agregat telah terdorong oleh variasi cangkang kemiri, walaupun grafik memberikan nilai sesuai spesifikasi, tetapi variasi cangkang kemiri tersebut akan menyebabkan bleeding atau deformasi. Berdasarkan data diatas dapat disimpulkan bahwa cangkang kemiri layak digunakan berdasarkan spesifikasi VMA.

3. VFB

VFB adalah bagian dari VMA yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang terserap partikel agregat individu. Efek dari nilai VFB ini adalah kekuatan ikatan komposit dalam komposit, yang jika lebih kecil membuat lapisan kurang permeabel terhadap air dan udara, karena lebih banyak rongga. Hal ini akan memungkinkan air dan udara lebih mudah melarutkan bagian aspal yang

teroksidasi, sehingga mengurangi kekuatan campuran, tetapi jika terlalu besar menunjukkan bahwa banyak celah yang diisi dengan aspal, sehingga impermeabilitas aspal campuran dengan air dan udara menjadi lebih tinggi. Namun nilai VFB yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan bleed atau tar naik ke permukaan, sehingga nilai steady state akan menurun. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VFB adalah ukuran partikel agregat, kadar aspal, massa dan suhu pemadatan, Berdasarkan spesifikasi jalan raya, nilai spesifikasi VFB yang dibutuhkan adalah 70-80%. Lihat Gambar IV.10



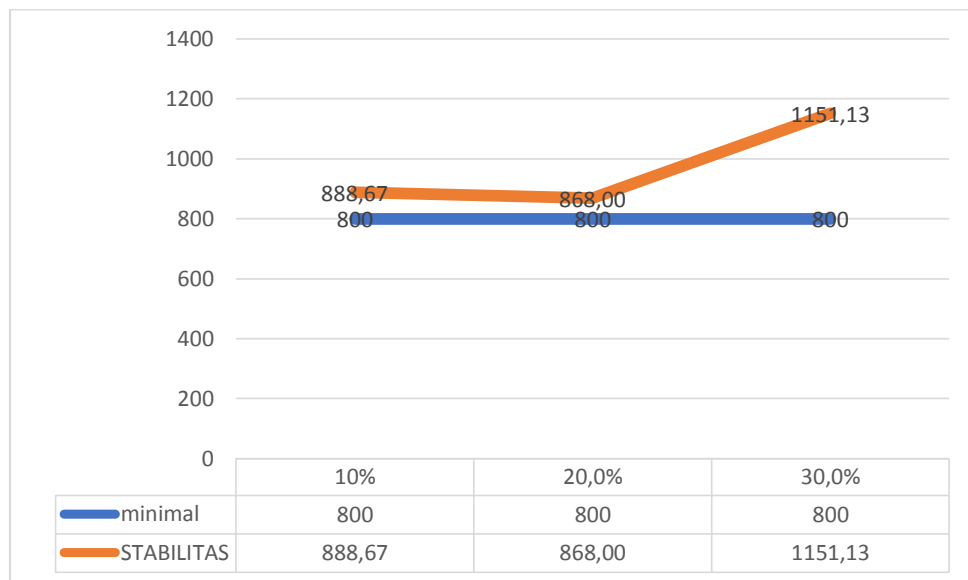
Gambar IV 7 Hasil VFB Terhadap Variasi Filler Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan dengan Gambar IV.10 menunjukkan bahwa nilai rata rata pada VFB menggunakan variasi 10% dengan nilai 71,65% mengalami kenaikan, pada variasi 20% dengan nilai 69,13% mengalami penurunan, dan variasi 30% dengan nilai 70,70% mengalami kenaikan yang dimana semua variasi telah memenuhi syarat minimal nilai VFB sehingga filler limbah cangkang kemiri telah memenuhi syarat spesifikasi menurut VFB.

4. STABILITAS

Stabilitas adalah kelebihan suatu perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban kerja lalu lintas tanpa distorsi seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa perkerasan tersebut memiliki kapasitas beban lalu lintas yang tinggi. Dalam uji laboratorium Marshall, stabilitas adalah kemampuan aspal untuk menerima beban sampai terjadi

pelelehan yang dinyatakan dalam kilogram. Nilai stabilitas tergantung pada kekuatan ikatan batuan (gesekan internal) dan gaya rekatnya. Gesekan internal tergantung pada tekstur permukaan, ukuran partikel agregat, kepadatan campuran dan kadar aspal. Stabilitas yang terlalu tinggi membuat perkerasan menjadi kaku dan rapuh, sedangkan stabilitas yang rendah membuat perkerasan menjadi lebih lentur dan rentan terhadap rutting. Syarat spesiifikasi Bina Marga, nilai kandang minimum adalah 800 kg. Dapat dilihat pada Gambar IV.11

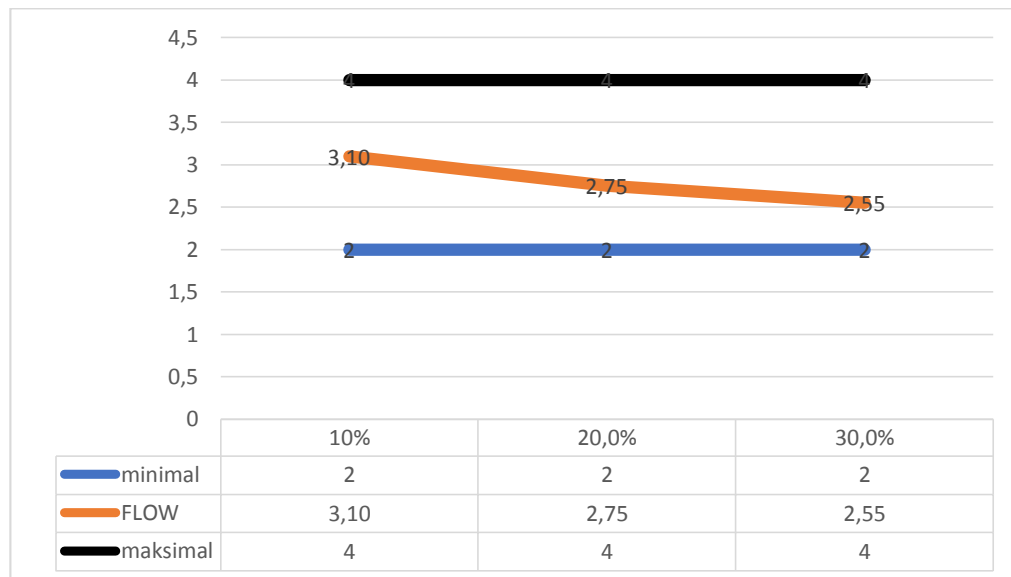


Gambar IV. 8 Hasil Stabilitas Terhadap Variasi Filler Cangkang Kemiri

Berdasarkan pada gambar IV.11 menunjukkan bahwa pada variasi subsitusi filler limbah cangkang kemiri 10% dengan nilai 888,67 Kg, 20% dengan nilai 868,00 Kg, dan 30% dengan nilai 1151,13 Kg. berdasarkan nilai yang diperoleh dari hasil penelitian, semua variasi tersebut mengindikasikan penggunaan filler limbah cangkang kemiri memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Hal tersebut dapat di simpulkan bahwa semakin tinggi variasi campuran maka semakin kuat pula stabilitas yang didapatkan.

5. Flow

Kelelehan (*flow*). adalah kondisi perubahan bentuk campuran yang timbul akibat beban mendekati batas keruntuhan, diukur dalam satuan panjang (mm), Plastisitas campuran mencerminkan sifat plastis dari lapisan perkerasan, dimana laju pelelehan lebih banyak ditentukan oleh karakter plastis aspal. Ketika aspal dengan plastisitas rendah dicampurkan dalam perkerasan, akan membentuk lapisan permukaan. Gula memiliki keuletan yang minim. Campuran dengan aliran rendah yang memiliki stabilitas tinggi cenderung bersifat keras, sehingga dapat retak ketika dikenai beban yang melampaui kapasitasnya. Sebaliknya, campuran dengan nilai aliran tinggi dan stabilitas rendah cenderung lebih elastis dan dapat berubah bentuk dengan mudah ketika dikenai beban aliran. Nilai laju aliran dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ukuran partikel agregat, jumlah aspal, massa, dan suhu saat pemadatan. Berdasarkan persyaratan spesifikasi dari Bina Marga, nilai laju aliran yang diinginkan berada dalam rentang 2.0-4.0mm. Informasi lebih lanjut dapat ditemukan pada Gambar IV.12



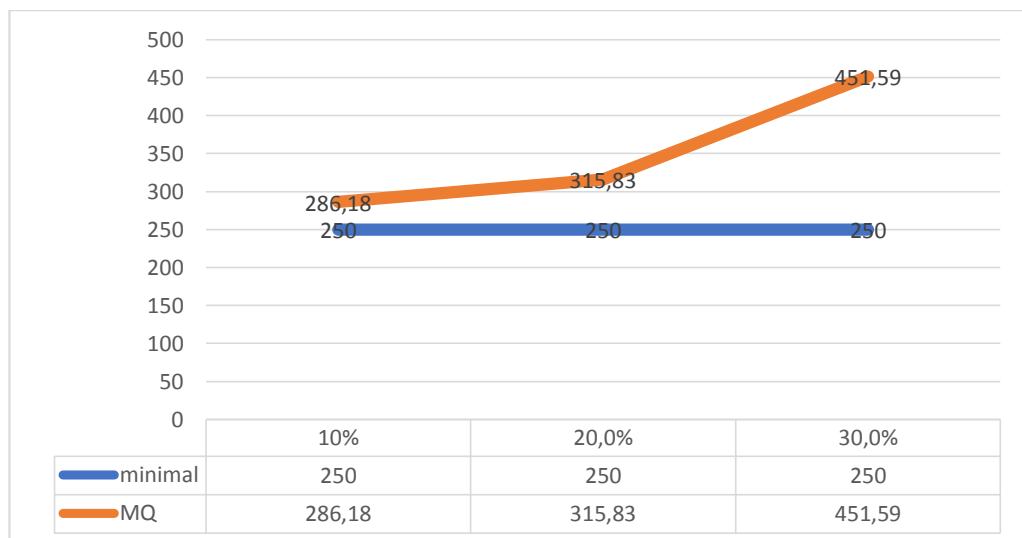
Gambar IV. 9 Hasil Flow Terhadap Variasi Filler Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan pada gambar IV.12 nilai flow pada variasi filler limbah cangkang kemiri yaitu 10% dengan nilai 3,10 mm, 20% dengan nilai 2,75mm, dan 30% dengan nilai 2,55mm. berdasarkan nilai yang diperoleh, semua variasi

substitusi filler limbah cangkang kemiri memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semakin banyak variasi cangkang kemiri semakin kecil pula kelelahan yang didapat.

6. MARSHALL QUOTIENT

Nilai Marshall Quotient merupakan hasil pembagian antara stabilitas dan throughput. Marshall Quotient digunakan sebagai pendekatan untuk menilai tingkat kelenturan perkerasan. Kombinasi stabilitas yang tinggi dengan throughput yang rendah menghasilkan perkerasan yang keras dan rapuh. Sebaliknya, bila stabilitas rendah dan throughput tinggi, ini mengindikasikan campuran yang lebih lentur dan akan mengalami deformasi jika diberi beban lalu lintas. Nilai parameter Marshall Quotient yang dibutuhkan minimal 250 kg/mm. dapat dilihat pada gambar IV.13



Gambar IV. 10 Hasil Marshall Question Terhadap Variasi Filler Limbah Cangkang Kemiri

Berdasarkan gambar IV.13 nilai rata rata pada variasi filler limbah cangkang kemiri yaitu 10% dengan nilai 286,18 Kg/mm, 20% dengan nilai 315,83 Kg/mm, dan 30% dengan nilai 451,59 Kg/mm. dari data yang diperoleh, semua variasi memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, dengan semakin besar proporsi kadar filler limbah cangkang kemiri, maka nilai MQ semakin bertambah. Hal ini menguatkan bahwa aspal yang melekat dan terobsobsi kedalam agregat, mampu memperkuat

campuran aspal sehingga tertahan dari perubahan bentuk. Oleh karena itu limbah cangkang kemiri layak digunakan berdasarkan nilai MQ yang diperoleh.

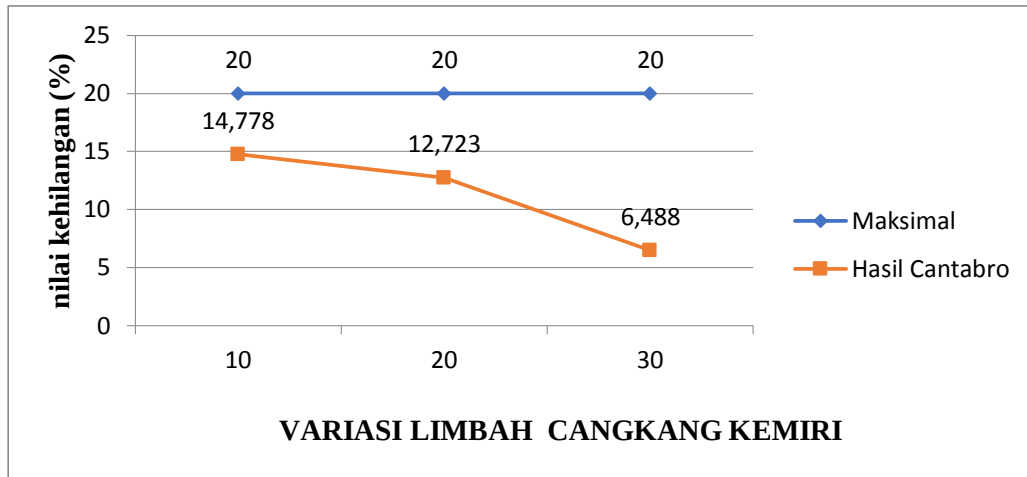
IV.5 Pengujian Cantabro

Uji cantabro dilakukan dengan memasukkan sampel satu per satu ke dalam mesin LA tanpa bola baja, kemudian diputar dengan kecepatan 300 rpm pada kecepatan 30-33 rpm. Tes cantabro dilakukan untuk menentukan ketahanan lapis perkerasan terhadap keausan dengan menggunakan mesin los angeles, keausan ini dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan sampel setelah 300 putaran terhadap berat semula sebelum dimasukkan kedalam mesin los angeles.

Tabel IV. 7 Hasil Pengujian Cantabro Menggunakan Filler Limbah Cangkang Kemiri

Variasi Limbah Aspal	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat $\frac{(Mo-Mi)}{Mo} \times 100\%$	Spesifikasi BINA MARGA
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
10	1	5.25	1159	1060	99	8.542	Maks.20
	2		1185	942	243	20.506	
	3		1171	992	179	15.286	
Rata-Rata			1172	998	174	14.778	
20	1	5.25	1165	1059	106	9.099	
	2		1204	1046	158	13.123	
	3		1204	1012	192	15.947	
Rata-Rata			1191	1039	152	12.723	
30	1	5.25	1177	1134	43	3.653	
	2		1184	1079	105	8.868	
	3		1181	1099	82	6.943	
Rata-Rata			1181	1104	77	6.488	

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA



Gambar IV. 11 Variasi Limbah Cangkang Kemiri Terhadap Cantabro

Berdasarkan dari syarat spesifikasi bina marga yang diisyaratkan adalah maksimal 20%, dimana hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat dari tabel IV.7 dan dapat dilihat dalam bentuk grafik pada gambar IV.14 yang menjelaskan bahwa rata rata kehilangan berat variasi 10% sebesar 14,778%, 20% sebesar 12,723%, dan 30% sebesar 6,488%, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak variasi campuran substitusi filler limbah cangkang kemiri semakin turun pula (degradasi) tingkat keausan yang terjadi, dengan demikian nilai yang didapatkan pada pengujian cantabro semuanya telah memenuhi spesifikasi yang telah di tentukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Hasil pengujian kadar aspal optimum yang telah dilakukan di laboratorium pada benda uji dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6%, 6,5%, dan 7%, memperoleh nilai kadar aspal optimum yang paling baik untuk digunakan yaitu pada kadar aspal optimum 5,25%.
2. Pada pengujian karakteristik marshall, penggunaan Limbah Cangkang Kemiri sebagai substitusi filler semuanya memenuhi spesifikasi yang telah diisyaratkan.
3. Berdasarkan hasil pengujian cantabro, diperoleh bahwa semua variasi limbah cangkang kemiri memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu maksimal nilai kehilangan 20%. Nilai kehilangan pada variasi 10% sebesar 14.778%, 20% sebesar 12.723%, dan 30% sebesar 6.488% secara menyeluruh telah memenuhi dan telah layak digunakan dari pengujian cantabro.

V.2 Saran

Berikut saran dalam penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan material yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan spesifikasi yang berbeda.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan pada aspal ac-bc dan aspal porus
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan tambahan variasi 40% keatas sampai menemukan nilai minimalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Meidia, R., & Muhammad, I. (2019). *Pemanfaatan Cangkang Kemiri dan Terak Tanur Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Ac-Wc*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Teuku Umar.
- Safariska, Z., & Kurniasari, F. D. (2020). *Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Filler Pada Campuran Lapisan Ac-Wc*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Iskandar.
- Adri, Ariel, S., & Novita, P. (2012). *Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Bahan Pengisi Filler Terhadap Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis Aus (Ac-WC)*. Rekayasa dan Manajemen Transportasi.
- Armin, Zulharnah, & Sudirman. (2023). *Studi Penggunaan Limbah Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Campuran Aspal Ac-Wc (Asphalt Concrete - Wearing Course)*. Aplikasi Teknik Dan Sains.
- Azka, C. N., Amin, J., Bukhari, S., & Syammaun, T. (2022). *Pengaruh Substitusi Limbah Low Density Polyethylene dan Abu Cangkang Kemiri Dalam Campuran Aspal AC-WC*. Konteks 16.
- Bakarbesy. (2019). *Pemanfaatan Abu Bata Merah Sebagai Pengganti Filler Pada Campuran Aspal Beton*. Teknik Sipil.
- Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Saringan Agregat Kasar dan Halus*. Buku 3 Spesifikasi PPJ PU.
- BSN. (2012). SNI 03-1968-1990. *SNI ASTM C136:2012 Revisi dari SNI 03-1968-1990 Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar (ASTM C 136-06, IDT)*.
- Center For Forestry And Forest Standards. (2020).
- SNI. (1991). *Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Balitbang PU, 12(12), 1-5.
- SNI. (1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*. Perkerasan Jalan Raya.
- Sukirman, & Silvia. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit.
- Tamarron, W. J., Erdawaty, & Mahyuddin. (2023). *Studi Pengaruh Penggunaan Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Campuran Ac-Wc*. Aplikasi Teknik Dan Sains.
- Yuniarti, R., Hasyim, Hariyadi, & Handayani, T. (2019). *Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler Pada Campuran Perkerasan Aspal Panas*. Jurnal Teknik Sipil.
- Bina Marga, (2018). *Spesifikasi Saringan Agregat Kasar dan Halus*. Buku PPJ PU.

**L
A
M
P
I
R
A
N**



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 1 Pemeriksaan Absorpsi Dan Berat Jenis Agregat Kasar

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 2500gr (chipping)

No. Contoh		I	II	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven (Gr)	A	2445,00	2485,00	2465,00
Berat Contoh Kering Permukaan (Gr)	B	2505,00	2505,00	2505,00
Berat Contoh Dalam Air (Gr)	C	1612,00	1605,00	1608,50
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	$\frac{A}{B - C}$	2,74	2,76	2,75
Berat Jenis Bulk SSD	$\frac{B}{B - C}$	2,81	2,78	2,80
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{A - C}$	2,94	2,82	2,88
Penyerapan Air	$\frac{B - A}{A} \times 100\%$	2,45	0,80	1,63

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 500gr (Pasir)

No. Contoh		I	II	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven (Gr)	A	493,00	495,00	494,00
Berat Contoh Kering Permukaan (Gr)	B	748,00	745,00	746,50
Berat Contoh Dalam Air (Gr)	C	1055,00	1055,00	1055,00
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	$\frac{A}{B + 500 - C}$	2,55	2,61	2,58
Berat Jenis Bulk SSD	$\frac{500}{B + 500 - C}$	2,59	2,63	2,61
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{B + A - C}$	2,65	2,68	2,67
Penyerapan Air	$\frac{500 - A}{A} \times 100$	1,42	1,01	1,22

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 3 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 500gr (Pasir)

Gradasi Saringan		No. Sampel			
		I		II	
Lolos	Tertahan	A	B	C	D
		Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
		3/4"	1/2"	2500	2332
1/2"	3/8"	2500	2500		
Jumlah Berat (gram)		5000	5000		
Tertahan Saringan No. 8		2332		2458	
Keausan		$\frac{5000-2332}{5000} \times 100\% = 53,36\%$		$\frac{5000-2458}{5000} \times 100\% = 50,84\%$	
$\frac{A - B}{A} \times 100\%$					
Rata-rata		52,10%			

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 4 Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat Kasar

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1000gr (Chipping)

Nomor	Gradasi Saringan	Ukuran		Berat Lolos Slot (Gram)	Berat Ter-tahan Slot (Gram)	Total Berat (Gram)
		Thickness Gauge				
		Lebar (mm)	Panjang g (mm)	A	B	C
I	3/4" 1/2"	6.67	38.2	110	390	500
II	1/2" 3/8"	4.8	25.4	138	362	500
Total				248	752	1000
Indeks Kepipihan = $\frac{Total\ Berat\ A}{Total\ Berat\ C} \times 100\%$				$\frac{248}{1000} \times 100\% = 24.8\%$		

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr (Chipping)

Kode	Uraian	Pemeriksaan
A	Volume lumpur	3 ml
B	Volume total (lumpur + pasir)	200 ml

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 6 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1500gr

Material : Chipping

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	150.00	150.00	10.00	90.00
3/8"	260.00	410.00	27.33	72.67
4	440.00	850.00	56.67	43.33
8	650.00	1500.00	100.00	0.00
16	0.00	1500.00	100.00	0.00
30	0.00	1500.00	100.00	0.00
50	0.00	1500.00	100.00	0.00
100	0.00	1500.00	100.00	0.00
200	0.00	1500.00	100.00	0.00
PAN	0.00	1500.00	100.00	0.00

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 7 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr
Material : Pasir

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	0.00	0.00	0.00	100.00
16	200.00	200.00	20.00	80.00
30	250.00	450.00	45.00	55.00
50	200.00	650.00	65.00	35.00
100	100.00	750.00	75.00	25.00
200	140.00	890.00	89.00	11.00
PAN	110.00	1000.00	100.00	0.00

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 8 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus / Abu Batu

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr
Material : Abu Batu

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	0.00	0.00	0.00	100.00
16	0.00	0.00	0.00	100.00
30	0.00	0.00	0.00	100.00
50	61.00	61.00	6.10	93.90
100	587.00	648.00	64.80	35.20
200	196.00	844.00	84.40	15.60
PAN	156.00	1000.00	100.00	0.00

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

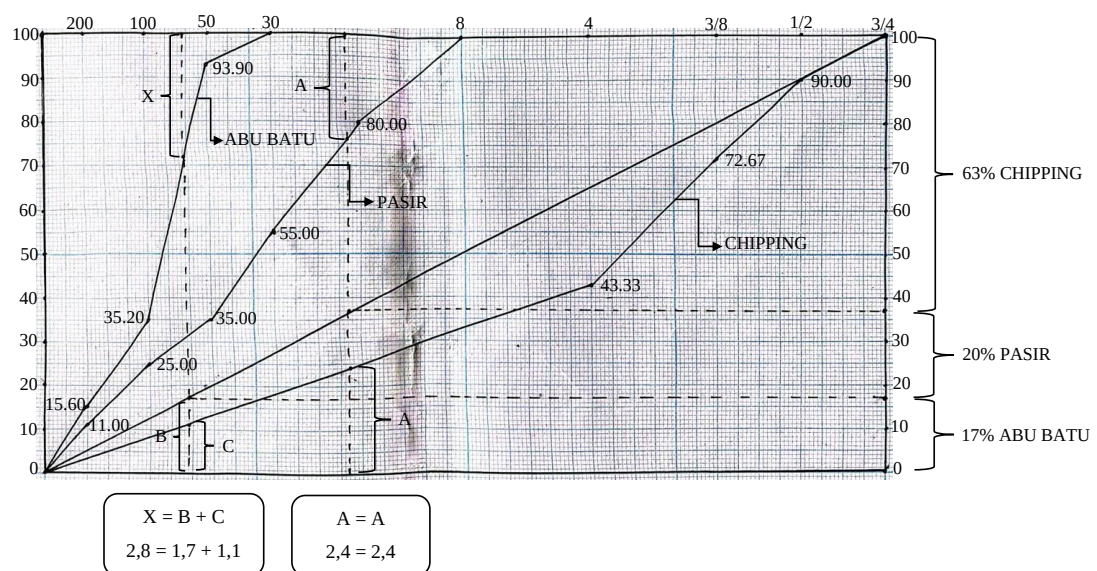
Lampiran 9 Penentuan Komposisi Agregat Secara Grafik

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir



Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 10 Proporsi Gabungan KAO 5%

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian Kadar Aspal : 5.0%
Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	172.88	0.00	172.88
1/2"	12.70	203.03	0.00	203.03
3/8"	9.80	111.15	0.00	111.15
4	4.75	195.62	0.00	195.62
8	2.35	58.32	0.00	58.32
16	1.18	0.00	76.61	76.61
30	0.60	0.00	64.24	64.24
50	0.30	0.00	67.43	67.43
100	0.15	0.00	56.66	56.66
200	0.075	0.00	72.62	72.62
PAN	0.00	0.00	61.45	61.45
Berat Total Agregat				1140.00
Berat Aspal (5%)				60.00
Total				1200.00

Makassar, April 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 11 Proporsi Gabungan KAO 5.5%

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian Kadar Aspal : 5.5%
Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	171.97	0.00	171.97
1/2"	12.70	201.97	0.00	201.97
3/8"	9.80	110.57	0.00	110.57
4	4.75	194.59	0.00	194.59
8	2.35	58.01	0.00	58.01
16	1.18	0.00	76.20	76.20
30	0.60	0.00	63.90	63.90
50	0.30	0.00	67.08	67.08
100	0.15	0.00	56.36	56.36
200	0.075	0.00	72.24	72.24
PAN	0.00	0.00	61.12	61.12
Berat Total Agregat				1134.00
Berat Aspal (5.5%)				66.00
Total				1200.00

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 12 Proporsi Gabungan KAO 6%

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian Kadar Aspal : 6.0%
Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	171.06	0.00	171.06
1/2"	12.70	200.90	0.00	200.90
3/8"	9.80	109.98	0.00	109.98
4	4.75	193.56	0.00	193.56
8	2.35	57.70	0.00	57.70
16	1.18	0.00	75.80	75.80
30	0.60	0.00	63.56	63.56
50	0.30	0.00	66.72	66.72
100	0.15	0.00	56.06	56.06
200	0.075	0.00	71.85	71.85
PAN	0.00	0.00	60.80	60.80
Berat Total Agregat				1128.00
Berat Aspal (6%)				72.00
Total				1200.00

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 13 Proporsi Gabungan KAO 6.5%

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian Kadar Aspal : 6.5%
Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	170.15	0.00	170.15
1/2"	12.70	199.83	0.00	199.83
3/8"	9.80	109.40	0.00	109.40
4	4.75	192.54	0.00	192.54
8	2.35	57.40	0.00	57.40
16	1.18	0.00	75.40	75.40
30	0.60	0.00	63.22	63.22
50	0.30	0.00	66.37	66.37
100	0.15	0.00	55.76	55.76
200	0.075	0.00	71.47	71.47
PAN	0.00	0.00	60.48	60.48
Berat Total Agregat				1122.00
Berat Aspal (6.5%)				78.00
Total				1200.00

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 14 Proporsi Gabungan KAO 7%

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU
Diperiksa :
Pengujian Kadar Aspal : 7.0%
Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	169.24	0.00	169.24
1/2"	12.70	198.76	0.00	198.76
3/8"	9.80	108.81	0.00	108.81
4	4.75	191.51	0.00	191.51
8	2.35	57.09	0.00	57.09
16	1.18	0.00	75.00	75.00
30	0.60	0.00	62.89	62.89
50	0.30	0.00	66.01	66.01
100	0.15	0.00	55.47	55.47
200	0.075	0.00	71.09	71.09
PAN	0.00	0.00	60.15	60.15
Berat Total Agregat				1116.00
Berat Aspal (7%)				84.00
Total				1200.00

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 15 Analisa Mix Data Bricket Gradasi Bina Marga

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Kadar Aspal : 5.25 %

Penelitian : Tugas Akhir

Material Chipping	=	(	100%	-	5.25%	)	x	63%	x	1200	=	716.31
3/4	=	(	100%	-	100.00%	)	x	0.00	gram			
1/2	=	(	100.00%	-	90.00%	)	x	716.31	=	71.63	gram	
3/8	=	(	90.00%	-	72.00%	)	x	716.31	=	128.94	gram	
no. 4	=	(	72.00%	-	43.33%	)	x	716.31	=	205.37	gram	
no.8	=	(	43.33%	-	0.00%	)	x	716.31	=	310.38	gram	
no. 16	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	716.31	=	0.00	gram	
no. 30	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	716.31	=	0.00	gram	
no. 50	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	716.31	=	0.00	gram	
no. 100	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	716.31	=	0.00	gram	
no. 200	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	716.31	=	0.00	gram	
PAN	=	(	0.00%	-	0.00%	)	X	716.31	=	0.00	gram	

Material pasir	=	(	100%	-	5.25%	)	x	20%	x	1200	=	227.4
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	227.40	=	0.00	gram	
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	227.40	=	0.00	gram	
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	227.40	=	0.00	gram	
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	227.40	=	0.00	gram	
no.8	=	(	100%	-	100%	)	x	227.40	=	0.00	gram	
no. 16	=	(	100%	-	80.00%	)	x	227.40	=	45.48	gram	
no. 30	=	(	80%	-	55.00%	)	x	227.40	=	56.85	gram	
no. 50	=	(	55.00%	-	35.00%	)	x	227.40	=	45.48	gram	
no. 100	=	(	35.00%	-	25.00%	)	x	227.40	=	22.74	gram	
no. 200	=	(	25.00%	-	11.00%	)	x	227.40	=	31.84	gram	
PAN	=	(	11.00%	-	0.00%	)	X	227.40	=	25.01	gram	

Material Debu Abu	=	(	100%	-	5.25%	)	x	17%	x	1200	=	193.29
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	193.29	=	0.00	gram	
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	193.29	=	0.00	gram	
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	193.29	=	0.00	gram	
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	193.29	=	0.00	gram	
no.8	=	(	100%	-	100%	)	x	193.29	=	0.00	gram	
no. 16	=	(	100%	-	100%	)	x	193.29	=	0.00	gram	
no. 30	=	(	100%	-	100%	)	x	193.29	=	0.00	gram	
no. 50	=	(	100%	-	93.90%	)	x	193.29	=	11.79	gram	
no. 100	=	(	93.90%	-	35.20%	)	x	193.29	=	113.46	gram	
no. 200	=	(	35.20%	-	15.60%	)	x	193.29	=	37.88	gram	
PAN	=	(	15.60%	-	0.00%	)	X	193.29	=	30.15	gram	

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 16 Analisa Nilai Variasi Cangkang Kemiri

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Variasi Cangkang Kemiri	No. Saringan			
	50	100	200	pan
10	1.18	11.35	3.79	3.02
20	2.36	22.69	7.58	6.03
30	3.54	34.04	11.37	9.05

Makassar, Mei 2024

Mengetahui ;
Koordinator Laboratorium
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 17 Proporsi Gabungan 10%

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian : 10 %

Penelitian : Tugas Akhir

10%						
Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Abu cangkang kemiri	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	71.63	0.00	0.00	0.00	71.63
3/8"	9.80	128.94	0.00	0.00	0.00	128.94
4	4.75	205.37	0.00	0.00	0.00	205.37
8	2.35	310.38	0.00	0.00	0.00	310.38
16	1.18	0.00	45.48	0.00	0.00	45.48
30	0.60	0.00	56.85	0.00	0.00	56.85
50	0.30	0.00	45.48	10.61	1.18	57.27
100	0.15	0.00	22.74	102.12	11.35	136.20
200	0.075	0.00	31.84	34.10	3.79	69.72
PAN	0.00	0.00	25.01	27.14	3.02	55.17
Berat Total Agregat						1137.00
Berat Aspal (5.25%)						63.00
Total						1200.00

Makassar, Mei 2023

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., M



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 18 Proporsi Gabungan 20%

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian : 20 %

Penelitian : Tugas Akhir

20%						
Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Abu cangkang kemiri	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	71.63	0.00	0.00	0.00	71.63
3/8"	9.80	128.94	0.00	0.00	0.00	128.94
4	4.75	205.37	0.00	0.00	0.00	205.37
8	2.35	310.38	0.00	0.00	0.00	310.38
16	1.18	0.00	45.48	0.00	0.00	45.48
30	0.60	0.00	56.85	0.00	0.00	56.85
50	0.30	0.00	45.48	9.43	2.36	57.27
100	0.15	0.00	22.74	90.77	22.69	136.20
200	0.075	0.00	31.84	30.31	7.58	69.72
PAN	0.00	0.00	25.01	24.12	6.03	55.17
Berat Total Agregat						1137.00
Berat Aspal (5.25%)						63.00
Total						1200.00

Makassar, Mei 2023

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., M



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 19 Proporsi Gabungan 30%

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian : 30 %

Penelitian : Tugas Akhir

30%						
Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Abu Cangkang Kemiri	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	71.63	0.00	0.00	0.00	71.63
3/8"	9.80	128.94	0.00	0.00	0.00	128.94
4	4.75	205.37	0.00	0.00	0.00	205.37
8	2.35	310.38	0.00	0.00	0.00	310.38
16	1.18	0.00	45.48	0.00	0.00	45.48
30	0.60	0.00	56.85	0.00	0.00	56.85
50	0.30	0.00	45.48	8.25	3.54	57.27
100	0.15	0.00	22.74	79.42	34.04	136.20
200	0.075	0.00	31.84	26.52	11.37	69.72
PAN	0.00	0.00	25.01	21.11	9.05	55.17
Berat Total Agregat						1137.00
Berat Aspal (5.25%)						63.00
Total						1200.00

Makassar, Mei 2023

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 20 Analisa Data Pengujian Marshall

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Varasi Substitusi	kadar Aspal	No. Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall					
			VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
10%	5.25%	1	5.85	15.75	62.87	1085.00	3.15	344.44
	5.25%	2	2.20	12.49	82.36	775.00	3.05	254.10
	5.25%	3	4.37	14.42	69.72	806.00	3.10	260.00
Rata-rata			4.14	14.22	71.65	888.67	3.10	286.18
20.0%	5.25%	1	4.17	14.25	70.71	837.00	2.80	298.93
	5.25%	2	5.95	15.84	62.42	806.00	2.73	295.24
	5.25%	3	3.52	13.66	74.25	961.00	2.72	353.31
Rata-rata			4.55	14.58	69.13	868.00	2.75	315.83
30.0%	5.25%	1	6.57	16.40	59.91	1128.40	2.70	417.93
	5.25%	2	3.87	13.98	72.33	1302.00	2.55	510.59
	5.25%	3	1.90	12.22	79.86	1023.00	2.40	426.25
Rata-rata			4.11	14.20	70.70	1151.13	2.55	451.59

Makassar, Mei 2023

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 21 Analisa Data Pengujian Cantabro

Dikerjakan : FATLY EMBA TAU

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Variasi Limbah Aspal	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat $\frac{(Mo - Mi)}{Mo} \times 100\%$	Spesifikasi BINA MARGA	
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	
10	1	5.25	1159	1060	99	8.542	Maks.20	
	2		1185	942	243	20.506		
	3		1171	992	179	15.286		
Rata-Rata			1172	998	174	14.778		
20	1	5.25	1165	1059	106	9.099		
	2		1204	1046	158	13.123		
	3		1204	1012	192	15.947		
Rata-Rata			1191	1039	152	12.723		
30	1	5.25	1177	1134	43	3.653		
	2		1184	1079	105	8.868		
	3		1181	1099	82	6.943		
Rata-Rata			1181	1104	77	6.488		

Makassar, Mei 2023

Mengetahui ;

Koordinator Laboratorium

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)

DOKUMENTASI



Limbah Cangkang Kemiri



Limbah Cangkang kemiri Setelah Dihaluskan



Pencucian Agregat Halus



Penjemuran Anggregat Halus



Pencucian Agregat Kasar



Penjemuran Agregat Kasar



Penyaringan Agregat



Penimbangan Agregat



Penggabungan Agregat





Proses Pemanasan Agregat





Pemanasan Aspal



Pencampuran Agregat Dengan Aspal



Proses Pencetakan Sampel Briket



Sampel Dikeluarkan dari Mould Menggunakan Dongkrak



Sampel Briket



Penimbangan Kering Di Udara



Perendaman Sampel Briket



Penimbangan SSD



Penimbangan Dalam Air



Perendaman Sebelum Pengujian Marshall



Pengujian Marshall



Hasil Pengujian Marshall



Pengujian Cantabro



Hasil Pengujian Cantabro