

**PENGGUNAAN SERBUK TEGEL SEBAGAI SUBSTITUSI
FILLER PADA PERKERASAN ASPAL PORUS**

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar sarjana dari
Universitas Fajar**

Oleh:

ERDIN MAMATA

1820121010



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR
2022**

**PENGUNAAN SERBUK TEGEL SEBAGAI SUBSTITUSI
FILLER PADA PERKERASAN ASPAL PORUS**

Oleh:

ERDIN MAMATA

NIM: 1820121010

Menyetujui
Tim Pembimbing
Tanggal, 10 Oktober 2022

Disetujui Oleh:

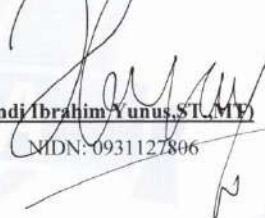
Dosen Pembimbing I



(Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT.)

NIDN: 0906107701

Dosen pembimbing II



(Andi Ibrahim Yunus, ST., MT.)

NIDN: 0931127806

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Fajar



(Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT.)

NIDN: 0906107701

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Fajar



(Fatmawati Rachim, ST., MT.)

NIDN: 0919117903

LEMBAR ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir:

PENGUNAAN SERBUK TEGEL SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA PERKERASAN ASPAL PORUS adalah karya orisinal saya dan setiap serta seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan Panduan Penulisan Ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar 17 Oktober 2022



Erdin Mamata

ABSTRAK

Penggunaan Serbuk Tegel Sebagai Substitusi Filler Pada Perkerasan Aspal Porus, Erdin Mamata. Aspal porus merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang telah dikembangkan di beberapa negara maju dan peruntukannya hanya pada lapisan aus atau penutup (*wearing course*). Sifat porus diperoleh karena campuran ini menggunakan agregat halus lebih sedikit dibanding campuran lain sehingga memiliki kandungan rongga/pori lebih besar yang diharapkan memiliki tingkat kekesatan yang tinggi dan pori dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran. Aspal porus memiliki stabilitas yang rendah yang disebabkan oleh banyaknya rongga dalam campuran. Pada pengaplikasian campuran perkerasan di lapangan, umumnya menggunakan abu batu atau semen sebagai filler, namun tidak menutup kemungkinan adanya penggunaan filler lain. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan serbuk tegel sebagai substitusi filler pada perkerasan aspal porus dengan menggunakan aspal minyak. Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental di Laboratorium yaitu dengan pengujian marshall dan cantabro. Benda uji yang dibuat sebanyak 24 buah. Variasi filler yaitu 0%, 25%, 50%, dan 75% dengan kadar aspal minyak Pen 60/70 sebanyak 5,5%, yang mengacu pada *spesifikasi Road Engineering Association of Malaysia* (REAM). Dari hasil pengujian didapatkan nilai kehilangan berat yaitu 0%=4,597, 25%=4,413, 50%=2,562, dan 75%=4,096 telah memenuhi spesifikasi REAM (2008) yaitu $\leq 15\%$. Yang menunjukkan bahwa campuran aspal porus yang menggunakan filler serbuk tegel pada variasi filler 50% merupakan komposisi yang optimum dengan tingkat keausan terkecil yaitu 50%=2,562. Sehingga penggunaan serbuk tegel sebagai filler dengan variasi 50% ini terhadap perkerasan aspal dapat memberikan kontribusi dalam ketahanan perkerasan aspal terhadap gesekan roda kendaraan dengan permukaan jalan.

Kata kunci: *Aspal Porus, Serbuk Tegel, Marshall, Cantabro, REAM*

ABSTRACT

Porous Asphalt Is One Type Of Road Pavement That Has Been Developed In Several Developed Countries And Its Designation Is Only For The Wear Layer Or Covering (Wearing Course), Erdin Mamata. The porous nature is obtained because this mixture uses less fine aggregate than other mixtures so that it has a larger void/pore content which is expected to have a high level of roughness and the pores can function as drainage channels in the mixture. Porous asphalt has low stability due to the large number of voids in the mixture. In the application of pavement mixtures in the field, generally use stone ash or cement as a filler, but it is possible to use other fillers. The purpose of this study was to determine the effect of using tile powder as a filler substitution on porous asphalt pavement using oil asphalt. The research method is experimental in the laboratory, namely by testing marshall and cantabro. As many as 24 specimens were made. The filler variations are 0%, 25%, 50%, and 75% with Pen 60/70 asphalt oil content of 5.5%, which refers to the Road Engineering Association of Malaysia (REAM) specifications. From the test results, the value of weight loss is 0% = 4.597, 25% = 4.413, 50% = 2,562, and 75% = 4,096 has met the REAM (2008) specification, which is 15%. Which shows that the porous asphalt mixture using tile powder filler at 50% filler variation is the optimum composition with the smallest wear rate, which is 50% = 2,562. So that the use of tile powder as a filler with a variation of 50% on asphalt pavements can contribute to the resistance of asphalt pavements to vehicle wheel friction with the road surface.

Keywords: Porous Asphalt, Tile Powder, Marshall, Cantabro, REAM

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“PENGUNAAN SERBUK TEGEL SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA PERKERASAN ASPAL PORUS”** yang merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang turut membimbing serta mendoakan agar terselesaikannya Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini secara khusus penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Mika Mamata dan Sufrianti Galle' Lurekke selaku orang tua, serta keluarga besar yang telah memberikan doa, dukungan dan motivasi, serta pengorbanan secara materi maupun non materi.
2. Dr. Mulyadi Hamid, S.E., M.SI. selaku rektor Universitas Fajar.
3. Dr. Ir. Erniati, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Fajar.
4. Fatmawaty Rachim, ST., MT. selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Fajar.
5. Dr.Ir. Erniati, ST., MT. selaku pembimbing I dan Andi Ibrahim Yunus, ST., MT. selaku pembimbing II yang senantiasa terus membimbing saya dalam penelitian ini.
6. Saudara seangkatan Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Angkatan 2018.
7. Serta semua pihak dengan segala kerendahan hati turut membantu dalam menyelesaikan laporan ini.

Tak lupa pula penulis haturkan permohonan maaf sebesar besarnya kepada seluruh pihak yang berhubungan dengan pekerjaan tugas akhir ini jika terdapat kekeliruan dan kesalahan yang penulis perbuat, baik tutur kata maupun tingkah laku.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama pada bidang Teknik Sipil. Penulis sadar jika dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini masih terdapat kekeliruan, dengan ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna untuk menyempurnakan.

Akhir kata, semoga ALLAH SWT melimpahkan rahmat-NYA dan membalas segala kebaikan kita semua. Aamiin.

Makassar, 2022

Erdin Mamata

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR SINGKATAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	11
1.1 Latar Belakang.....	11
I.1 Rumusan Masalah	13
I.2 Tujuan Penelitian.....	13
I.3 Batasan Masalah.....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	14
II.1 Konstruksi Perkerasan.....	14
II.2 Jenis Konstruksi Perkerasan.....	14
II.3 Konstruksi Perkerasan Lentur	14
II.3.1 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>).....	15
II.4 Aspal.....	16
II.4.1 Proses Destilasi Minyak Bumi	17
II.4.2 Jenis Aspal.....	18
II.5 Agregat	19
II.5.1 Sifat Agregat.....	20
2. Limbah Keramik Tegel.....	23
II.5.2 Gradasi Agregat.....	24

II.6	Perkerasan Aspal Porus	25
II.6.1	Keuntungan Penggunaan Aspal Porus.....	27
II.6.2	Gradasi Agregat Aspal Porus	27
II.6.3	Gradasi Campuraan Aspal Porus.....	28
II.6.4	Area yang tidak efektif untuk penggunaan aspal porus.....	30
II.7	Pengujian Campuran Aspal	31
II.7.1	Pengujian Marshall.....	31
II.8	Pengujian Cantabro	34
II.8	Penelitian Terdahulu.....	36
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	39
III.1	Waktu Dan Lokasi.....	39
III.2	Alat dan Bahan.....	39
III.2.1	Alat.....	39
III.2.2	Bahan.....	40
III.3	Metode Pengumpulan Data	40
III.4	Pelaksanaan Penelitian	40
III.4.1	Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	40
III.5	Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Bahan	41
III.5.1	Pengujian Material Agregat	41
III.5.2	Pemilihan Tipe Gradasi.....	42
III.6	Prosedur Pembuatan Benda Uji	42
III.7	Pemeriksaan Kinerja Benda Uji	43
III.7.1	Prosedur Pengujian Marshall	43
III.7.2	Prosedur Pengujian Cantabro.....	44
III.8	Analisis Data.....	45
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
IV.1	Hasil Uji Karakteristik Material	47

IV.1.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat	47
IV.1.2 Sifat Fisik Agregat Kasar	47
IV.1.3 Sifat Fisik Agregat Halus	47
IV.2 Gradasi Gabungan Agregat	48
IV.3 Pengujian Campuran Aspal	50
IV.3.1 Pengujian Marshall	50
IV.3.2 Pengujian Cantabro	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
V.1 Kesimpulan	59
V.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Minyak Pen 60/70.....	19
Tabel II. 2	Batas Gradasi Agregat Gabungan Aspal Porus.....	28
Tabel II. 3	Ketentuan Campuran Aspal Porus.	29
TabelIII.1	Metode Pengujian Karakteristik Agregat Kasar.....	41
Tabel III. 2	Metode Pengujian Karakteristik Agregat Halus	41
Tabel III. 3	Jumlah Benda Uji.....	43
Tabel III. 4	Pengujian dan Metode Pengujian Karakteristik Aspal Porus	43
Tabel IV. 1	Karakteristik Sifat-sifat fisik Agregat Kasar (Kerikil).....	47
Tabel IV. 2	Karakteristik Sifat-sifat Agregat Halus (Pasir).....	48
Tabel IV. 4	Hasil Pengujian Marshall Test.....	50
Tabel IV. 5	Hasil Rata-rata Pengujian Cantabro.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1	Komponen Perkerasan Jalan Lentur	16
Gambar II. 2	Aspal.....	17
Gambar II. 3	Aspal minyak.....	19
Gambar II. 4	Agregat Berbentuk Bulat dan Agregat Berbentuk Kubus	21
Gambar II. 5	Agregat Tak Beraturan	22
Gambar II. 6	limbah keramik tegel	24
Gambar II. 7	Aspal Porus.....	27
Gambar II. 8	Alat Pengujian Marshall	31
Gambar II. 9	Alat Pengujian Cantabro.....	35
Gambar III. 1	Bagan alur penelitian.....	46
Gambar IV. 1	Grafik Gradasi Gabungan Agregat.....	49
Gambar IV. 2	Alat Pengujian Marshall.....	50
Gambar IV. 3	Grafik Nilai VIM Terhadap Variasi Filler Serbuk Tegel.....	51
Gambar IV. 4	Grafik Nilai VMA Terhadap Substitusi Serbuk Tegel.....	52
Gambar IV. 5	Grafik Nilai VFB Terhadap Substitusi Serbuk Tegel	53
Gambar IV. 6	Grafik Nilai Stabilitas Terhadap Variasi Substitusi Filler Serbuk Tegel.....	55
Gambar IV. 7	Grafik Nilai Flow Terhadap Variasi Substitusi Filler Serbuk Tegel	56
Gambar IV. 8	Grafik Nilai MQ Terhadap Variasi Substitusi Filler Serbuk Tegel	57
Gambar IV. 9	Grafik Hasil Pengujian Cantabro	58

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan (REAM).	Nama	Halaman
AC	<i>Asphalt Concrete</i>	9
ASTM	<i>America Association For Testing and Material</i>	13
AASHTO	<i>American Assocation Of State Highway And Transportation Officials</i>	13 22
VIM	<i>Void In Mix</i>	22
VMA	<i>Void Mineral Aggregat</i>	22
VFB	<i>Void Filler In Bitumen</i>	22
KAO	Kadar Aspal Optimum	22
(SNI	Standar Nasional Indonesia	22
MQ	<i>Marshall Quotient</i>	24
 Simbol		
%	Persen	3
°C	Derajat Celcius	9
Mm	Milimeter	9
Cm	Centimeter	9
≥	Lebih Dari	9
<	Kurang Dari	13
kg	Kilogram	23
±	Kurang Lebih	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 saat 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 (Triyanto, 2019).

Jalan raya merupakan salah satu media prasarana pada transportasi darat yang memiliki peran penting pada aktivitas ekonomi yang terjadi pada suatu daerah sehingga keberadaan jalan sangat berpengaruh pada perkembangan pada suatu daerah tersebut. Maka kualitas pada konstruksi jalan tersebut sangat diperlukan agar dapat mampu mendukung suatu kelancaran dan kenyamanan pada daerah tersebut. Ditinjau dari segi fungsinya jalan raya mempunyai peranan penting dalam kehidupan sosial (Arif, 2013).

Namun pada realita yang banyak terjadi di beberapa daerah yaitu masih banyak jalan-jalan yang masih kurang memenuhi syarat sehingga hasilnya kurang baik (cepat rusak). Maka perlu adanya pemeliharaan yang baik agar bagaimana supaya pengguna jalan dapat merasa nyaman dan aman.

Pembangunan yang mengalami kepesatan ini juga memiliki dampak pada berkurangnya lahan hijau dan menyebabkan minimnya daerah resapan air, sehingga pembangunan jalan raya di Indonesia selain dituntut dapat memperbaiki tingkat keselamatan dan kenyamanan, juga dituntut pembangunan jalan yang ramah terhadap lingkungan, serta bahan penyusunnya memiliki harga yang cukup terjangkau dan mudah dijumpai di sekitar kita.

Perkerasan beraspal masih merupakan lapis penutup perkerasan jalan yang dominan di Indonesia, walaupun di beberapa ruas jalan telah dilakukan dengan lapis perkerasan kaku dengan beton. Campuran beraspal panas merupakan campuran antara agregat dengan aspal sebagai pengikat pada komposisi dan suhu tertentu. Banyak jenisnya campuran beraspal dan umumnya ditentukan oleh tipe gradasi agregat yang digunakan, jenis aspal dan suhu pencampuran/pemadatan.

Salah satu jenis campuran beraspal adalah aspal porus yang merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang telah dikembangkan di beberapa negara maju dan diperuntukkan hanya pada lapisan aus atau penutup (*wearing course*). Aspal porus (*porous asphalt*) merupakan campuran beraspal panas bergradasi terbuka dengan persentase agregat halus yang kecil, sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan air jika hujan, sehingga air tidak tergenang dipermukaan jalan. Campuran beraspal porus ini umumnya mempunyai stabilitas yang rendah dan sangat tergantung dari mutu aspal sebagai bahan pengikat agregat, dan material penyusunnya.

Penggunaan material pengisi (*filler*), yang paling sering digunakan untuk campuran beraspal adalah abu batu, yang merupakan hasil bawaan dari proses pemecahan batu oleh alat *stone crusher* sehingga sedikit yang bisa diperoleh. Sebagai alternatif pengganti abu batu sebagai filler yang digunakan adalah filler semen, tetapi di beberapa daerah sulit didapatkan dan harga relatif mahal. Beberapa perusahaan yang bergerak dibidang proyek konstruksi jalan umumnya menghendaki bahan filler yang mudah didapatkan, ekonomis dan juga menggunakan bahan lokal sebagai bahan alternatif. Tapi memungkinkan untuk penggunaan filler lain.

Oleh karena itu, diperlukan alternatif sebagai inovasi untuk dijadikan bahan substitusi khususnya pada campuran aspal porus agar bagaimana supaya kita bisa memanfaatkan limbah keramik tersebut sebagai sesuatu yang berguna dan juga mengurangi tumpukan limbah yang sudah tidak digunakan lagi.

Untuk itu, pada penelitian ini memanfaatkan limbah keramik tegel sebagai substitusi filler untuk campuran aspal porus. Limbah keramik tegel yang nantinya digunakan dalam penelitian ini adalah limbah dari sisa pekerjaan lantai sebuah

bangunan. Komposisi utama pada pembuatan kemarik yaitu lempung (*clay*) pada komposisi ini memiliki sifat plastisitas yang tinggi sehingga kekuatan bertahan pada suhu yang tinggi. Maka dapat digunakan sebagai bahan substitusi pada campuran perkerasan jalan. Berdasarkan uraian di atas, maka penulis akan melakukan penelitian dengan judul: **“Penggunaan Serbuk Tegel Sebagai Substitusi Filler Terhadap Perkerasan Aspal Porus”**.

I.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Berapa nilai karakteristik *Marshall* pada perkerasan aspal porus menggunakan serbuk tegel sebagai *filler*?
2. Berapa nilai Cantabro pada perkerasan aspal porus menggunakan serbuk tegel sebagai *filler*?

I.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai karakteristik *Marshall* pada perkerasan aspal porus menggunakan serbuk tegel sebagai *filler*.
2. Untuk mengetahui nilai Cantabro pada perkerasan aspal porus menggunakan serbuk tegel sebagai *filler*.

I.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pengujian ini dilakukan berdasarkan skala laboratorium.
2. Tidak dilakukan pengujian kimiawi terhadap serbuk tegel.
3. Pengujian ini menggunakan persentase kadar aspal minyak sebesar 5,5%.
4. Menggunakan spesifikasi *Road Engineering Association of Malaysia* (REAM).
5. Variasi substitusi *filler* tegel yaitu 0%, 25%, 50%, dan 75%.
6. Serbuk tegel berasal dari sisa pekerjaan lantai keramik sebuah bangunan.
7. Bahan substitusi filler yang digunakan adalah serbuk tegel lolos saringan

200

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Konstruksi Perkerasan

Konstruksi perkerasan jalan adalah suatu lapisan agregat yang dipadatkan dengan atau tanpa lapisan pengikat di atas lapisan tanah pada suatu jalur jalan. Apabila konstruksi perkerasan direncanakan menggunakan lapisan pengikat, maka lapisan pengikat yang umum digunakan adalah 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 dimana konstruksi perkerasan jalan akan memperkuat daya dukung tanah dasar yang melemah diakibatkan oleh air.

II.2 Jenis Konstruksi Perkerasan

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

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

II.3 Konstruksi Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan bahan yang diletakkan di atas tanah dasar atau badan jalan yang dipadatkan dan kedudukan

stabil, oleh karena itu perkerasan lentur haruslah dapat memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Syarat-Syarat Jalan Raya

Perkerasan lentur dilihat dari keamanan dan kenyamanan berlalu lintas haruslah memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.
- b. Permukaan cukup kaku sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban yang bekerja di atasnya.
- c. Permukaan cukup kesat, memberikan gesekan yang baik antar ban dengan permukaan jalan sehingga tidak mudah terjadi selip.
- d. Permukaan tidak mengkilap, tidak silau jika terkena pantulan sinar matahari.

2. Syarat-syarat kekuatan atau *structural*

Perkerasan jalan di lihat dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban haruslah memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban atau muatan lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air yang jatuh di atasnya dapat cepat teralirkan.
- c. Kekuatan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

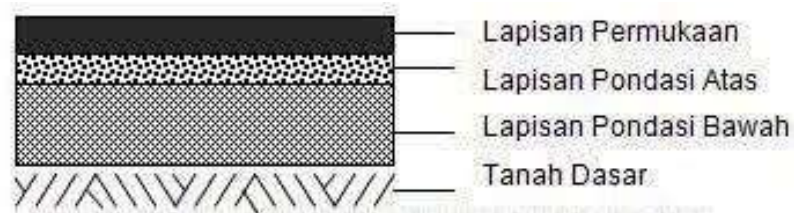
Perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapis yaitu lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*) dan lapisan tanah dasar (*subgrade*).

II.3.1 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Fungsi utama lapis permukaan perkerasan jalan atau yang terletak paling atas adalah sebagai berikut:

1. Secara *Structural*, yaitu:

- a. Bagian yang secara langsung mendukung beban lalu lintas di atasnya. Memiliki stabilitas yang tinggi untuk menahan beba roda selama masa pelayanan.
 - b. Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menerima gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
 - c. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah.
2. Secara *nonstructural*, yaitu bagian yang memberikan bentuk permukaan yang halus, rata, dan nyaman bagi para pemakai jalan.



Sumber : Gambar manual desain perkerasan jalan 2013
Gambar II. 1 Komponen Perkerasan Jalan Lentur

II.4 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu, aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam ataupun peleburan. Jika temperature mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis).

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil yang umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal.

Bahan dasar utama dari aspal adalah hydrocarbon, yang biasa disebut dengan bitumen, sehingga aspal sering juga disebut bitumen.

Aspal yang pada umumnya digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi dan disamping itu mulai banyak pula dipergunakan aspal alam yang berasal dari pulau Buton.

Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan proses hasil residu dari destilasi minyak bumi, sering disebut sebagai

aspal semen. Aspal semen bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap pengaruh asam, basa, dan garam. Ini berarti jika dibuatkan lapisan dengan menggunakan aspal sebagai pengikat dengan mutu yang baik dapat memberikan lapisan kedap air dan tahan terhadap cuaca dan reaksi kimia lain.

Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur aspal akan menjadi kaku dan rapuh dan akibatnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang. Perubahan ini dapat diatasi atau dikurangi jika sifat-sifat aspal dikuasai dan dilakukan langkah-langkah yang baik dalam proses pelaksanaannya (Sukirman, 1999).



Gambar II. 2 Aspal

II.4.1 Proses Destilasi Minyak Bumi

Aspal merupakan proses lanjutan dari hasil destilasi minyak bumi. Bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), solar (minyak diesel) merupakan hasil destilasi pada temperatur yang berbeda-beda. Setiap minyak bumi menghasilkan residu yang terdiri dari bahan dasar aspal yang berbeda. Dapat dibedakan atas:

1. Bahan dasar aspal (*asphaltic base crude oil*)
2. Bahan dasar paraffin (*paraffin base oil*)
3. Bahan dasar campuran (*mixed base crude oil*)

Bahan dasar parafin kurang mengandung bitumen, demikian juga bahan dasar campuran dimana kandungan kadar aspalnya rendah. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan yang diperoleh dari bahan dasar aspal.

II.4.2 Jenis Aspal

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas (Sukirman, 1999):

1. Aspal alam, dapat dibedakan atas:
 - a. Aspal gunung (*rock asphalt*), contoh aspal dari Pulau Buton
 - b. Aspal danau (*lake asphalt*), contohnya aspal dari Bermudez, Trinidad.
2. Aspal buatan
 - a. Aspal minyak, merupakan hasil penyulingan minyak bumi.
 - b. Tar, merupakan hasil penyulingan batu bara
Tidak umum digunakan untuk perkerasan jalan karena cepat mengeras, peka terhadap perubahan temperatur dan beracun.

II.4.2.1 Aspal Minyak (*Petroleum Asphalt*)

Aspal minyak dengan bahan dasar aspal dapat dibedakan atas:

1. Aspal Keras/*Cement (AC)* adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan (temperatur ruang).

Aspal semen pada temperature ruang (25°-30°C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokkan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperature 25°C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya. Di Indonesia, aspal keras biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya, yaitu:

- a. AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40-50.
- b. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70.
- c. AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150.
- d. AC pen 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300.

Aspal semen dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya digunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

Tabel II. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Minyak Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,09
2	Penetrasi (Mm)	$\geq 60-70$	61,6
3	Daktalitas (Cm)	≥ 100	164
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	312
5	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,47
6	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48

Sumber: PT. Summitama Intinus

1. Aspal dingin/cair (*cut back asphalt*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan dingin.
2. Aspal emulsi (*emulsion asphalt*), adalah aspal yang disediakan dalam bentuk emulsi. Dapat digunakan dalam keadaan dingin ataupun panas. Aspal emulsi dan *cutback* aspal umumnya digunakan pada campuran dingin atau pada penyemprotan dingin.



Gambar II. 3 Aspal minyak

II.5 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan. Agregat alam merupakan yang dapat dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan dan agregat buatan merupakan agregat yang diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan mesin pemecah batu.

II.5.1 Sifat Agregat

Kemampuan agregat dalam memikul beban lalu-lintas ditentukan oleh sifat dan kualitasnya. Dibutuhkan agregat dengan kualitas dan sifat yang baik untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya. Penentuan kualitas dari sifat agregat sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok menurut (Sukirman, 1999), yaitu:

1. Keawetan dan kekuatan (*durability and strength*), lapisan perkerasan dapat dipengaruhi oleh:
 - a. Gradasi
 - b. Ukuran maksimum
 - c. Kadar lempung
 - d. Kekerasan dan ketahanan
 - e. Bentuk butir
 - f. Tekstur permukaan
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, dapat dipengaruhi oleh:
 - a. Porositas
 - b. Kemampuan basah
 - c. Jenis agregat
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang aman dan nyaman, dapat dipengaruhi oleh:
 - a. Tahanan geser (*skid resistance*)
 - b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan

II.5.1.1 Daya Tahan Agregat

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

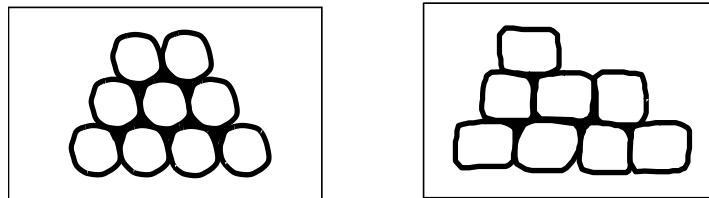
1. Jenis agregat, jenis agregat yang lunak mengalami degradasi yang lebih besar dari agregat yang lebih keras.

2. Gradasi, gradasi terbuka mempunyai tingkat degradasi yang lebih besar disbanding pada gradasi rapat.
3. Bentuk, partikel bulan akan mengalami degradasi yang lebih besar disbanding dengan yang berbentuk kubus/ bersudut.
4. Ukuran partikel, partikel yang lebih kecil mempunyai tingkat degradasi yang lebih kecil disbanding dengan partikel dengan ukuran besar.
5. Energi pemadatan, degradasi akan terjadi lebih besar pada pemadatan dengan menggunakan energi pemadatan yang lebih besar.

II.5.1.2 Bentuk dan Tekstur Agregat

Adapun bentuk dan tekstur agregat sebagai berikut:

1. Bulat, yaitu agregat yang dijumpai di sungai, yang pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga umumnya berbentuk bulat.
2. Lonjong, dikatakan lonjong apabila ukuran terpanjang $>1,8$ kali diameter rata-rata.
3. Kubus, merupakan bentuk hasil dari mesin pemecah batu (*crusher stone*) yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas, (berbentuk bidang rata sehingga dapat memberikan *interlocking* atau saling mengunci yang lebih besar).
4. Pipih, dapat merupakan hasil dari mesin pemecah batu maupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika dipecahkan akan cenderung berbentuk pipih.
5. Tak beraturan, merupakan agregat yang tidak mengikuti salah satu yang disebutkan diatas.



Gambar II. 4 Agregat Berbentuk Bulat dan Agregat Berbentuk Kubus



Gambar II. 5 Agregat Tak Beraturan

Agregat sebagai salah satu factor penentu kemampuan dalam perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Pemakaian agregat sebagai bahan perkerasan jalan perlu diperhatikan mengenai gradasi, kebersihan, kekerasan, dan ketahanan agregat, bentuk butir tekstur permukaan, porositas, absorpsi berat jenis dan daya kelekatan aspal.

Berdasarkan besar partikel-partikel agregat dibedakan atas

a. Agregat kasar

Agregat $>4,75$ mm menurut ASTM atau > 2 mm menurut AASHTO. Agregat kasar ini menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai ketahanan terhadap slip (*skid resistance*). Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran yang bulat memudahkan proses pemadatan tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut angular sulit didapatkan tetapi mempunyai stabilitas tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course*, untuk itu nilai dari *los angles abrasion test* harus dipenuhi.

b. Agregat halus

Agregat $<4,75$ mm menurut ASTM atau <2 mm dan $>0,075$ mm menurut AASHTO. Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian antara butiran, agregat halus juga mengisi ruang antar butir.

c. Filler

Filler adalah material yang sangat halus, yang umumnya lolos saringan no.200. Pada prakteknya fungsi filler adalah untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperature, meningkatkan komposisi

filler dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar air *void* (rongga udara).

Demikian komposisi filler dalam campuran tetap dibatasi yaitu sebesar 4-10% dari berat aspal beton, jika terlalu tinggi kadar filler dalam campuran akan mengakibatkan campuran getas (*brittle*) dan akan retak (*crack*) ketika menerima beban lalu lintas. Akan tetapi jika terlalu rendah kadar filler akan mengakibatkan campuran terlalu lunak pada saat cuaca panas.

1. Abu Batu (sebagai bahan pengisi atau filler)

Abu batu merupakan agregat buatan. Agregat yang merupakan mineral filler/pengisi (partikel dengan ukuran $< 0,075$ mm), diperoleh dari hasil sampingan mesin pemecah batu. Material jenis ini banyak dibutuhkan untuk campuran dalam proses pengaspalan.

Kelebihan abu batu dari segi teksturnya, abu batu memiliki tekstur yang masih sangat tajam, sehingga saat ini digunakan sebagai campuran perkerasan aspal akan membuat ikatan didalam campuran tersebut menjadi kuat, yang akhirnya dapat membuat kekuatan campuran semakin meningkat.

2. Limbah Keramik Tegel

Limbah pecahan keramik adalah salah satu contoh limbah yang dihasilkan dari pabrik keramik atau hasil pekerjaan konstruksi bangunan. Keramik adalah suatu unsur bangunan yang dipergunakan untuk melapisi lantai atau dinding yang biasanya berbentuk plat persegi dan tipis yang dibuat dari tanah liat dan bahan mentah keramik lainnya, dengan cara dibakar sampai suhu tertentu, sehingga mempunyai sifat-sifat fisik khusus. Bahan keramik selain dipergunakan untuk ubin, digunakan juga dalam pembangunan sebagai perlengkapan sanitair (wastafel, kloset, dan sebagainya) dan pada rumah tangga.

Berkembangnya sektor pembangunan di Indonesia yang menggunakan bata beton mengakibatkan tingginya kebutuhan semen dan pasir yang akan berpengaruh pada peningkatan produktivitas semen. Produksi semen telah menghasilkan emisi gas CO₂ yang cukup besar ke atmosfer. Menurut *International Energy Authority, World Energy Outlook*, jumlah karbon dioksida yang dihasilkan tahun 1995 adalah 23,8 Milyar ton. Produksi semen *portland*

menyumbang 7% dari keseluruhan CO₂ tersebut dan diprediksi akan terus meningkat (Akmalia et al. 2016).

Menurut Purnama, *et al* (2018) perkembangan industri keramik di Indonesia yang terus mengalami peningkatan juga berdampak pada meningkatnya limbah keramik yang timbul. Puslitbang TMB (2005) menyebutkan bahwa Indonesia mengekspor 122.367.973 m³ batu keramik pada tahun 2005. Selain itu, juga terjadi peningkatan kebutuhan batu bara pada pembangkit tenaga listrik untuk proses pembakaran. Hal ini akan meningkatkan produksi abu terbang yang pemanfaatannya masih sedikit, yaitu sekitar 20 - 30 % .

Bahan mentah yang terkandung pada keramik antara lain adalah kaolin, lempung, feldspar, dan kuarsa. Kandungan utama dalam pembuatan keramik adalah lempung (clay), dimana lempung memiliki sifat plastisitas yang tinggi dan kekuatannya dapat bertahan pada suhu tinggi. Sehingga cocok digunakan sebagai campuran perkerasan jalan karena dalam pencampurannya bahan-bahan yang digunakan harus dipanaskan pada suhu tertentu dan jika dipanaskan melebihi suhu yang dapat diterima oleh bahan tersebut maka akan karakteristik akan rusak.



Gambar II. 6 limbah keramik tegel

II.5.2 Gradasi Agregat

Menurut (Sukirman, 2016), distribusi butir-butir agregat dengan ukuran tertentu yang dimiliki oleh suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat.

Gradasi agregat dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk. Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir. Agregat bergradasi baik di sebut pula agregat bergradasi rapat. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai rongga sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran butir agregat terbesar yang ada. Berdasarkan ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas:

1. Agregat bergradasi kasar adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.
2. Agregat bergradasi halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus.

Agregat bergradasi buruk tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Terdapat berbagai macam nama gradasi agregat yang dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi buruk, seperti:

1. Agregat bergradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai rongga antar butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka. Rentang distribusi ukuran butir yang ada pada agregat bergradasi seragam tersebar pada rentang yang sempit.
2. Agregat bergradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga rongga-rongganya tidak terisi dengan baik.
3. Agregat bergradasi senjang adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

II.6 Perkerasan Aspal Porus

Aspal porus adalah suatu inovasi teknologi di bidang bahan perkerasan jalan, dimana memungkinkan air mengalir kedalam campuran aspal melalui

rongga menerusnya. Akibatnya permukaan jalan tidak terdapat genangan air, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan akibat jalan yang licin. Keuntungan lain adalah bahwa aspal porus dapat mengurangi silau (menyerap cahaya) dan mengurangi kebisingan akibat lalu lintas, dimana semua hal tersebut akan berujung pada meningkatnya tingkat keselamatan pengguna jalan. Campuran aspal porus merupakan campuran yang didesain sebagaimana sehingga setelah dihampar dan dipadatkan akan membentuk suatu material padat dengan rongga udara lebih besar dari 20 persen.

Campuran aspal porus biasanya digunakan untuk lapis penutup (*wearing course*) dan selalu dihampar diatas lapisan dasar yang kedap air. Permasalahan yang sering dialami campuran aspal porus adalah kegagalan fungsi drainase, penglepasan agregat (*aggregate scattering loss*) dan daya tahan terhadap deformasi plastis. Meskipun di banyak negara (terutama Jepang) teknologi campuran aspal porus sudah banyak diterapkan namun di Indonesia teknologi ini belum diyakini kemampuannya secara struktural menahan beban lalulintas.

Penggunaan nama Aspal Porus sangat terkait dengan perilaku atau sifat-sifat campuran beraspal yang menggunakan gradasi agregat dengan jumlah fraksi kasar diatas 85% dari berat total campuran, sehingga struktur yang dihasilkan lebih terbuka dan berongga. Struktur demikian diharapkan dapat meningkatkan kemampuan mengalirkan air baik secara arah vertikal maupun horizontal. Campuran Aspal Porus menggunakan gradasi terbuka (*open graded*), sehingga campuran Aspal Porus disebut juga *open graded asphalt*. Gradasi terbuka terdiri dari agregat kasar yang banyak dan hanya mengandung sedikit agregat halus, sehingga terdapat banyak rongga/ruang. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.



Gambar II. 7 Aspal Porus

II.6.1 Keuntungan Penggunaan Aspal Porus

Beberapa manfaat Penggunaan Aspal Porus, antara lain:

1. Dapat mengurangi aquaplaning apabila permukaan aspal basah akibat tingginya kadar pori dalam Aspal Porus
2. Permukaan Aspal Porus sangat kasar dan kesat, oleh karena didominasi oleh agregat kasar sehingga permukaannya memiliki *skid resistance* (tahanan geser) tinggi yang dapat mengurangi kecelakaan lalu lintas berupa slipnya ban kendaraan diatas permukaan jalan.
3. Terjadi untaian pori yang membentuk saluran drainase, yang mampu meresapkan air pada arah vertikal dan horizontal dan mengalirkannya ke saluran samping jalan sehingga air tidak mempengaruhi lapisan subbase.
4. Dapat meredam kebisingan kendaraan 3–4 dB, dimana kebisingan tersebut diredam oleh pori-pori yang ada dalam Aspal Porus.

II.6.2 Gradasi Agregat Aspal Porus

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan jalan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

Tabel II. 2 Batas Gradasi Agregat Gabungan Aspal Porus

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)	Persentase Agregat Lolos (%)	
		Grading A	Grading B
¾	20.0		100
½	14.0	100	85 – 100
3/8	10.0	95 – 100	55 – 75
4	5.0	30 – 50	10 – 25
8	2.36	5 – 15	5 – 10
200	0.075	2 – 5	2 – 4

Sumber: Spesifikasi Road Engineering Association Of Malaysia (REAM, 2008)

II.6.3 Gradasi Campuran Aspal Porus

Campuran Aspal Porus menggunakan gradasi terbuka karena Aspal Porus diharapkan dapat berfungsi sebagai drainase, anti selip, antiaquaplaning dan peredam kebisingan yang hanya dapat diperoleh melalui penggunaan gradasi terbuka. Dilakukan uji gradasi terhadap standar gradasi Aspal Porus sehingga dapat diyakini bahwa gradasi tersebut telah memenuhi standar perencanaan untuk Aspal Porus. Campuran aspal porus merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur, yang membolehkan air meresap ke dalam lapisan atas (*wearing course*) secara vertikal dan horizontal. Lapisan ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang dihamparkan di atas lapisan aspal yang kedap air. Lapisan Aspal Porus ini secara efektif dapat memberikan tingkat keselamatan yang lebih terutama diwaktu hujan agar tidak terjadi aquaplaning sehingga menghasilkan kekesatan permukaan yang lebih kasar dan dapat mengurangi kebisingan (*noise reduction*).

Besarnya pori yang tercipta dari Aspal Porus berkisar 20% setelah pemadatan. Penggunaan nama Aspal Porus sangat terkait dengan perilaku atau sifat-sifat campuran beraspal yang menggunakan gradasi agregat dengan jumlah fraksi kasar diatas 85% dari berat total campuran, sehingga struktur yang dihasilkan lebih terbuka dan berongga. Struktur demikian diharapkan dapat meningkatkan kemampuan mengalirkan air baik secara arah vertikal maupun

horizontal. Dengan meningkatkan proporsi agregat kasar dan mengurangi agregat halus, nilai rongga dalam campuran akan meningkat. Syarat dan ketentuan campuran aspal porus dapat dilihat pada Tabel.

Tabel II. 3 Ketentuan Campuran Aspal Porus.

No.	Kriteria Perencanaan	Nilai
1.	Uji <i>cantabro Loss</i> (%)	Maks. 15
2.	Uji aliran aspal ke bawah (%)	Maks. 0,3
3.	Kadar rongga di dalam campuran (VIM %)	18 – 25
4.	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 350
5.	Kelelehan <i>Marshall</i> (mm)	2 – 4
6.	<i>Marshall quotient</i> (kg/mm)	Min. 200
7.	Jumlah tumbukan perbidang	50

Sumber: *Road Engineering Association of Malaysia (REAM,2008)*

Rongga udara yang besar pada agregat gradasi terbuka serta kandungan partikel yang tinggi merupakan suatu hal yang utama untuk menjamin campuran yang baik. Meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi, meningkatkan keawetan, jumlah perekat harus dijaga keseimbangannya dan tidak boleh berlebihan.

Setelah diperoleh hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat dan berat jenis aspal, maka berat jenis dan penyerapan dari total campuran serta penyerapan aspal dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{a. GSB (Berat jenis bulk)} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\left(\frac{P_1}{G_1}\right) + \left(\frac{P_2}{G_2}\right) + \dots + \left(\frac{P_n}{G_n}\right)} \dots\dots\dots$$

(II.1)

(*bulk Specific Gravity*)

$$\text{b. GSA (Berat jenis semu)} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\left(\frac{P_1}{A_1}\right) + \left(\frac{P_2}{A_2}\right) + \dots + \left(\frac{P_n}{A_n}\right)} \dots\dots\dots$$

(II.2) (*Apparent Specific Gravity*)

$$c. \text{ GSE (Berat jenis efektif)} = \frac{Gsb+Gsa}{2} \dots\dots\dots$$

(II.3) (*Effective Specific Gravity*)

$$d. \text{ PBA (Penyerapan aspal)} = \frac{Gse+Gsb}{GsexGsb} Ga \times 100\% \dots\dots\dots$$

(II.4)

dimana :

Gsb = Berat jenis bulk

Gsa = Berat jenis semu/apparent

Gse = Berat jenis efektif

Pba = Penyerapan aspal

Ga = Berat jenis aspal

P₁, P₂, ..., P_n = Persentase berat komponen agregat 1, 2, ..., n

G₁, G₂, ..., G_n = Berat jenis bulk dari masing-masing agregat

A₁, A₂, ..., A = Berat jenis apparent dari masing-masing agregat

II.6.4 Area yang tidak efektif untuk penggunaan aspal porous

Aspal porous tidak cocok digunakan pada area dengan kondisi sebagai berikut (REAM, 2008):

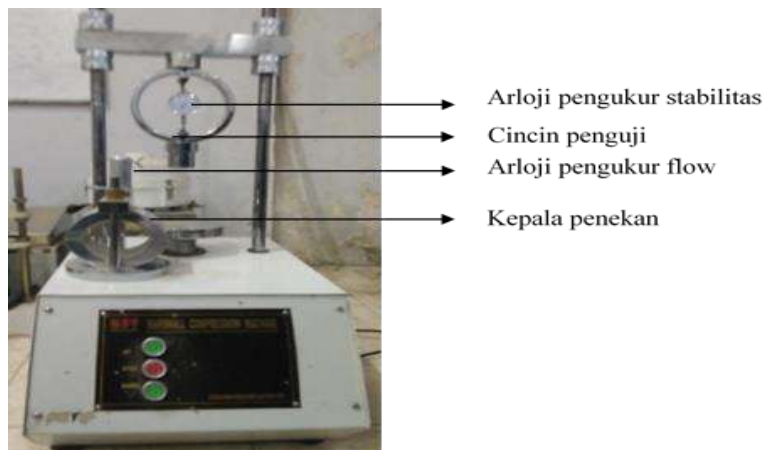
1. Kekuatan struktur perkerasan di bawah standar
2. Terdapat kecenderungan untuk melakukan akselerasi mendadak, pengereman dan membelok misalnya pada persimpangan utama
3. Tikungan kecil, jari-jari tikungan 10 %
4. Pengaliran bebas tidak dapat dilakukan sepanjang bahu jalan
5. Panjang jalan < 100 m, g) Terdapat fleksibilitas yang tinggi misalnya di atas jembatan
6. Volume lalu lintas melebihi 4.000 smp/lajur/hari saat pembukaan
7. Lalu lintas lambat, kecepatan di bawah 40 km/jam
8. Daerah pertanian karena kemungkinan tanah akan menutup poros.

II.7 Pengujian Campuran Aspal

II.7.1 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai karakteristik campuran pada benda uji yaitu stabilitas dan keelehan (*flow*), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini dibentuk dari gradasi agregat campuran tertentu, sesuai spesifikasi campuran. Setelah diketahui estimasi kadar aspalnya maka dapat dibuat benda uji. Marshall test merupakan suatu metode empiris, meliputi penerapan dari suatu perubahan bentuk yang konstan suatu benda uji. Nilai empiris marshall ditunjukkan pada saat benda uji hancur yang dinyatakan dengan stabilitas dan *flow* (keelehan). Volumetrik campuran juga sangat mempengaruhi sifat-sifat campuran beraspal yang meliputi nilai VIM (*Void in Mixture*), VMA (*Void In The Mineral Aggregate*) dan VFB (*Void Filled With Bitumen*). Parameter-parameter marshall tersebut sangat menentukan dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO). Pengujian Marshall merujuk pada (SNI 06-2489-1991).

Berikut merupakan metode pengujian Marshall Test sehingga mendapatkan sifat aspal yang awet dan tahan terhadap *rutting* (penurunan) serta *fatigue* (retak karena lelah), antara lain:



Gambar II. 8 Alat Pengujian Marshall

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah kemampuan pada lapis keras untuk menahan beban yang ditimbulkan oleh beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap. Adapun nilai-nilai yang mempengaruhi nilai stabilitas yaitu bentuk, tekstur permukaan, kualitas, dan gradasi agregat yang meliputi penguncian antara agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*), gesekan antar butiran agregat (*internal friction*), dan kadar aspal pada campuran.

Dalam pemakaian aspal pada campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Dengan penambahan aspal maka nilai stabilitas pun akan mengalami peningkatan. Penambahan campuran aspal hingga batas maksimum tersebut akan menjadikan nilai stabilitas mengalami penurunan nilai sehingga lapis perkerasan akan menjadi kaku dan bersifat getas.

$$\text{Stability} = O \times E' \times Q \dots\dots\dots$$

(II.5)

dimana:

- a. Stability = Stabilitas Marshall (kg);
- b. O = Pembacaan arloji stabilitas (Lbf);
- c. E' = Angka korelasi volume benda uji;
- d. Q = Kalibrasi alat Marshall

2. Kelelehan (*Flow*)

Flow dari pengujian Marshall adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga sampel hancur (dinyatakan dalam satuan mm). Pengukuran *flow* bersamaan dengan pengukuran nilai stabilitas Marshall. *Flow* dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu kadar aspal dan viskositas aspal, suhu, gradasi dan jumlah pemadatan. Nilai *flow* yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat elastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan nilai *flow* yang rendah mengindikasikan campuran tersebut memiliki banyak rongga kosong yang tidak terisi aspal sehingga campuran berpotensi mengalami keretakan.

3. MQ (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient merupakan nilai menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Jika nilai yang dihasilkan pada MQ, maka campuran tergolong kaku dan mudah retak. Begitu pun sebaliknya jika nilai MQ terlalu rendah, maka cenderung menjadi lentur dan kurang stabil. Hasil bagi MQ diperoleh dari pembagian nilai stabilitas dengan kelelahan. Dapat dihitung dengan rumus:

$$MQ = \frac{\text{Stability}}{\text{Flow}} \dots\dots\dots$$

(II.6)

4. VIM (*Void In Mix*)

Void In Mix (VIM) adalah rongga yang terdapat dalam campuran. Nilai VIM akan berpengaruh bagi keawetan lapisan perkerasan, semakin tinggi nilai yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar rongga pada campuran sehingga campuran dapat bersifat porus.

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

I.7)

Dimana:

VIM = Volume rongga dalam campuran

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran

G_{mb} = Berat jenis Bulk campuran

5. VMA (*Void In Mineral Aggregate*)

Void in mineral aggregate (VMA) adalah rongga udara yang terdapat dalam agregat suatu campuran yang telah dipadatkan. Rongga diantara mineral agregat merupakan volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat suatu campuran beraspal padat, termasuk di dalamnya rongga yang berisi aspal efektif dan menunjukkan persentase dari volume total bendajuj. Asphalt Institute merekomendasikan bahwa harga VMA dari campuran beraspal padat dapat dikalkulasikan dalam hubungannya dengan berat jenis kering total agregat (*Agregat Bulk Specific Gravity*). Pemakaian agregat bergradasi senjang dan kadar aspal yang rendah dapat memperbesar

$$VMA.VMA = 100 \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots$$

.....(II.8)

dimana :

VMA = Volume Pori Antar Agregat dalam Campuran

GMB = Berat Jenis *Bulk* Campuran

PS = Kadar Agregat

GSB = Berat Jenis *Bulk* Dari Agregat

6. VFB (Void Filler in Bitument)

Rongga Udara Yang Terisi Aspal atau VFB (*Void Filler in Bitument*) adalah persentase pori antar butir agregat yang terisi aspal, sehingga VFB merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Kriteria VFB membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. Pengaruh utama kriteria VFB adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum.VFB juga dapat membatasi kadar rongga campuran yang diizinkan yang memenuhi kriteria VMA. Nilai VFB diperoleh dengan rumus:

$$VFB=100 (VMA-VIM)/VMA \dots\dots\dots$$

(II.9)

dimana :

VFB = Volume Pori antar butir agregat

VMA = Volume pori antar agregat dalam campuran (%)

VIM = volume rongga dalam campuran (%)

II.8 Pengujian Cantabro

Cantabro adalah pengujian untuk mengetahui ketahanan pada campuran aspal dengan metode analisis menggunakan mesin Los Angeles. Mesin Los Angeles bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes keausan (abrasi) pada benda uji. Pada pengujian Cantabro ini digunakan untuk mengetahui daya ikat dari bitumen terhadap pelepasan 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 15%. Dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Nilai Keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

dimana:

A = Berat Benda Uji Semula (gram)

B = Berat Benda Uji Setelah Pengujian (gram).



Gambar II. 9 Alat Pengujian Cantabro

II.8 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Abdul Widayat Abzarih/ Studi experimental sifat *marshall* menggunakan tegel sebagai pengganti sebagian agregat halus, Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui apakah limbah partikel halus Tegel dapat dipergunakan sebagai Penganti Sebagian Agregat Halus dalam campuran aspal. Hasil dari penelitian ini yaitu penggunaan limbah tegel dapat dimanfaatkan sebagai agregat halus pada campuran beraspal dan berpengaruh terhadap nilai karakteristik *Marshall*. Berdasarkan variasi kadar limbah Tegel 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Devisi 6.3 dari pengujian *Marshall* adalah pada variasi kadar limbah tegel 5% dengan nilai Density sebesar 2,33 gr/cc, nilai VMA sebesar 16,72%, nilai VIM sebesar 4,89%, nilai VFB sebesar 70,73%, nilai Stabilitas sebesar 1284,60 kg, nilai Flow sebesar 2,25 mm dan nilai MQ sebesar 570,93 kg/mm.
2. Muhamad Syaiful Arif Penggunaan Bahan Pengisi (filler) Serbuk Keramik, Ditinjau Dari Parameter *Marshall* Pada Lapis Aspal Beton (Laston) 2018. Mengetahui sifat dan karakteristik campuran aspal beton tanpa penambahan serbuk keramik. Mengetahui pengaruh penggunaan serbuk keramik sebagai filler terhadap karakteristik parameter *Marshall* pada campuran aspal beton.
3. Hamka Wakkang^{1*}, Feri Fadli², Ramdiana³ Lapisan perkerasan asphalt pengaruh penambahan limbah keramik sebagai filler pada concrete-wearing course (AC-WC) 2021. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk keramik terhadap karakteristik *Marshall* campuran perkerasan AC-WC. hasil dari penelian ini adalah Penambahan 50% keramik diperoleh VMA, MQ, stabilitas, flow, VFB memenuhi nilai spesifikasi dan nilai VIM tidak ada yang memenuhi Pada 100% keramik diperoleh VMA, stabilitas, MQ, VFB, dan flow memenuhi spesifikasi. Penambahan 50% keramik diperoleh VMA, MQ, stabilitas, flow, VFB memenuhi nilai spesifikasi dan

nilai VIM tidak ada yang memenuhi. Pada 100% keramik diperoleh VMA, stabilitas, MQ, VFB, dan flow memenuhi spesifikasi. Untuk nilai VIM tidak ada yang memenuhi. Penambahan serbuk keramik terhadap karakteristik Marshall hanya berpengaruh pada peningkatan stabilitas dan flow sedangkan VIM tidak ada yang memenuhi spesifikasi sehingga penggunaan serbuk keramik sebagai filler pada campuran AC-WC tidak bisa dipakai.

4. Swasti arliningtyas/Analisa kelayakan limbah keramik sebagai pengganti agregat halus untuk campuran aspal beton ditinjau dari nilai stabilitas marshall 2018. Untuk mengetahui kelayakan kualitas aspal beton menggunakan agregat halus limbah keramik yang diamati dari nilai stabilitas Marshall. Untuk mengetahui perbandingan nilai stabilitas Marshall aspal beton yang menggunakan agregat halus pasir, aspal beton yang menggunakan agregat halus limbah keramik, dan aspal beton yang menggunakan agregat halus campuran pasir (50%) dan limbah keramik (50%). Campuran aspal beton dengan agregat halus keramik menghasilkan nilai stabilitas Marshall lebih kecil dari campuran aspal beton dengan agregat halus pasir. Campuran aspal beton dengan agregat halus pasir menghasilkan nilai stabilitas Marshall lebih kecil dari campuran aspal beton dengan agregat halus pasir + keramik. Dari hasil pengujian Marshall terlihat bahwa campuran aspal beton dengan agregat halus pasir yang dicampur dengan limbah potongan keramik menghasilkan nilai stabilitas Marshall yang paling baik. Campuran aspal beton ini memiliki nilai stabilitas Marshall yang tinggi karena campuran agregat pasir + keramik menghasilkan gradasi agregat yang rapat. Hal ini terlihat dari nilai VIM rata-rata sebesar 4.65% (memenuhi yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Seksi 6.3 Tentang Campuran Beraspal Panas Tahun 2010 Rev. 3).
5. Mohammad Zainudin Abdillah¹, Dwi Kartikasari²/Substitusi filler pada campuran aspal dengan fly ash dan serbuk batu bata 2018 Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan filler dengan

fly ash batu bara dan serbuk batu bata pada campuran Asphalt Concrete - wearing Course (AC-WC) yang terdiri dari stabilitas, flow, dan Marshall Quotient dan untuk mengetahui nilai presentase optimum diantara filler fly ash serbuk batu bata dan fly ash dibanding serbuk batu bata dengan presentase 100:0,50:50 dan 0:100. Hasil dari penelitian ini adalah Pada pengujian stabilitas benda uji dengan 100% fly ash mengalami blending. Meskipun nilai stabilitasnya rendah tapi masih memenuhi spesifikasi bina marga. Sifat fly ash yang licin membuat bahan filler tersebut mengalami blending/ keruntuhan. Nilai marshall quotient MQ pada benda uji 100%.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu Dan Lokasi

Penelitian akan dilaksanakan selama ± 4 (empat) Bulan, terhitung mulai pada Bulan Juni sampai dengan September 2022. Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Universitas Fajar, Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah (ex Racing Center) No.101, Karampuang, Panakukkang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Berikut alat-alat yang digunakan pada Penelitian ini sebagai berikut:

1. Automatic asphalt compactor
2. Ayakan dengan nomor saringan $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, #4, #8, #200
3. Mesin penggetar ayakan (Sieve Shaker)
4. Oven
5. Timbangan (kapasitas 50 kg)
6. Alat uji berat jenis (picnometer, timbangan, pemanas)
7. Bak perendam
8. Ejektor
9. Panci pencampur
10. Kompor pemanas
11. Termometer
12. Sendok pengaduk
13. Kaos tangan
14. Spatula
15. Timbangan
16. Mesin pengujian Marshall
17. Mesin pengujian Cantabro

III.2.2 Bahan

Berikut bahan yang digunakan, pada Penelitian ini sebagai berikut:

1. Agregat kasar
2. Agregat halus
3. Filler, berupa abu batu dan serbuk tegel
4. Aspal AC Penetrasi 60/70

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 dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data primer yang digunakan untuk menganalisa hasil penelitian yang telah dilakukan.

Aspal berongga diproduksi dengan menggunakan substitusi filler dengan serbuk tegel, yang selanjutnya akan dilakukan observasi untuk mengetahui nilai karakteristik Marshall dan nilai Cantabro yang dilakukan.

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan dilaboratorium, dengan mengacu pada:

- a. Standar Nasional Indonesia (SNI)
- b. *Road Engineering Association Of Malaysia* (REAM)

III.4 Pelaksanaan Penelitian

III.4.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Adapun prosedur pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan/Studi Literatur

Pada tahap persiapan ini dimulai dengan pengumpulan berupa data-data yang di dapatkan dari hasil pengujian sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti serta data dari buku-buku dan jurnal-jurnal.

2. Tahap persiapan alat dan bahan

Sebelum kegiatan penelitian dilaksanakan, hal yang perlu dilakukan terlebih dahulu yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Dalam kegiatan ini meliputi: kegiatan survey lokasi untuk pengambilan bahan material yang akan digunakan, pengangkutan bahan penelitian dari lokasi pengambilan bahan ke laboratorium.

3. Tahap pengujian sifat bahan karakteristik

Pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari setiap bahan material yang akan digunakan untuk bahan campuran aspal berongga. Agar diketahui bahan material tersebut memenuhi standar spesifikasi.

III.5 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Bahan

III.5.1 Pengujian Material Agregat

Pengujian material agregat ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik yang dimiliki oleh agregat yang akan digunakan pada campuran benda uji. Material agregat yang memenuhi standar sifat fisik yang akan digunakan pada pembuatan material. Pada pengujian agregat ini akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel III.1

Tabel III. 1 Metode Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian	Standar Penelitian	Nilai Persyaratan
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	Maks. 30%
Partikel pipi dan lonjong	ASTM D4791	Maks. 10%
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4149-1996	Maks. 1%
Berat jenis	SNI-03-1959-1990	Maks. 0,2 dari agregat halus
Penyerapan air	SNI-03-1959-1990	Maks. 3%

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010 Revisi I divisi 6

Berdasarkan Tabel III.2 terlihat bahwa beberapa metode pengujian agregat kasar, salah satu diantaranya adalah Material lolos saringan No. 200 yang mengacu pada SNI 03-4142-1996.

Tabel III. 2 Metode Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pemeriksaan	Standar Pengujian	Nilai Persyaratan
Kadar bitumen asbuton %	SNI 03-3640-1994	25-30%
Lolos Ayakan 3/8" (9,5mm) %	SNI 03-1968-1990	100%
Kadar Air, %	SNI 06-2490-1991	Maks 2%

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010 Revisi I Divisi 6

III.5.2 Pemilihan Tipe Gradasi

Tipe gradasi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah gradasi aspal porus atau aspal berongga (mix asphalt porous) yang mengacu pada spesifikasi Road Engineering Association Of Malaysia (REAM, 2008), yaitu menggunakan komposisi campuran sistem gradasi terbuka (open graded), dengan menggunakan agregat lolos asringan $\frac{3}{4}$ " tertahan saringan $\frac{1}{2}$ " dan lolos saringan $\frac{1}{2}$ " tertahan saringan $\frac{3}{8}$ " dengan perbandingan 50:50 terhadap komposisi agregat kasar serta menggunakan agregat halus yang lolos saringan no.4" dan tertahan saringan no.200" sebanyak 5%, dan filler lolos saringan no. 200" tertahan di Pan sebanyak 10%.

III.6 Prosedur Pembuatan Benda Uji

Berikut merupakan prosedur pembuatan benda uji, antara lain:

1. Menyiapkan alat-alat pembuatan benda uji.
2. Menyiapkan bahan seperti agregat kasar, agregat halus, dan filler yang telah memenuhi pemeriksaan karakteristik agregat, serta aspal AC Pen 60/70.
3. Melakukan penimbangan bahan penyusun sesuai dengan *mix design*.
4. Panaskan agregat yang telah ditimbang hingga mencapai suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$.
5. Timbang aspal minyak pen. 60/70 sebanyak 5,5%.
6. Setelah agregat mencapai suhu pemanasan, tambahkan aspal yang telah ditimbang lalu aduk hingga merata.
7. Kemudian melakukan pemadatan pada campuran dengan alat Marshall Compaction pada suhu $\pm 120^{\circ}\text{C}$, dengan tumbukan sebanyak 50x untuk tiap permukaan benda uji
8. Setelah dipadatkan, campuran aspal di keluarkan dari dalam *cetakan Marshall Compaction*
9. Kemudian, benda uji di letakkan dalam wadah yang telah disiapkan dan diamkan sampai dingin
10. Setelah dingin, benda uji siap untuk dilakukan pengujian *Marshall* dan *cantabro*.

Tabel III. 3 Jumlah Benda Uji

No.	Variasi Filler Serbuk Tegel	Jumlah Benda Uji (Buah)	
		Pengujian Marshall	Pengujian Cantabro
1.	0%	3	3
2.	25%	3	3
3.	50%	3	3
4.	75%	3	3
	Jumlah	24	

Keterangan:

Gradasi REAM: saringan No. $\frac{3}{4}$ "", $\frac{1}{2}$ "", $\frac{3}{8}$ "", 4", 8", 200", Pan

III.7 Pemeriksaan Kinerja Benda Uji

Pemeriksaan kinerja benda uji akan dilakukan dengan pengujian Marshall dan pengujian Cantabro. Metode pengujian yang dilakukan berdasarkan tabel III.4. Pengujian yang dilakukan terhadap benda uji yang berupa briket aspal porus merupakan pengujian sifat-sifat mekanis dalam menerima beban statis yang diberikan.

Tabel III. 4 Pengujian dan Metode Pengujian Karakteristik Aspal Porus

Pengujian	Standar Pengujian	Nilai persyaratan
Marshall	SNI 06-2489-1991	800 kg
Cantabro	SNI 03-2417-1991	20%

III.7.1 Prosedur Pengujian Marshall

Berikut merupakan prosedur pengujian *Marshall*, sebagai berikut:

1. Timbang dan catat briket benda uji.
2. Rendam benda uji di dalam air biasa selama ± 24 jam.
3. Keluarkan benda uji setelah benda uji direndam selama ± 24 jam, kemudian timbang benda uji di dalam air dan dalam keadaan kering permukaan.

4. Setelah itu, rendam benda uji dalam bak perendam (*water bath*) selama 30–40 menit dengan suhu tetap 60°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).
5. Keluarkan benda uji dari bak perendam dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan (waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendaman atau oven sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik).
6. Memasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin pengujian.
7. Memasang arloji pengukur alir (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan 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 ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin pengujian.
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 ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (*stability*) yang dicapai.
11. Mencatat nilai *stability* dan alir (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.

III.7.2 Prosedur Pengujian Cantabro

Berikut merupakan prosedur pengujian Cantabro, sebagai berikut:

1. Timbang dan catat benda uji
2. Pada pengujian ini, benda uji didiamkan dengan suhu ruang selama ± 24 jam.
3. Setelah itu, masukkan benda uji ke dalam alat pengujian abrasi mesin Los Angeles dengan putaran sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola baja.
4. Kemudian timbang dan catat benda uji setelah pengujian

III.8 Analisis Data

Dalam penelitian ini, data penelitian diperoleh dari hasil pengujian Marshall dan Cantabro lalu di analisis menggunakan persamaan rumus *stability*, *MQ*, *VIM*, *VMA*, dan *VFB* kemudian hasil analisis di sajikan dalam bentuk Table, Grafik, dan Gambar.

III.9 Bagan Alur Penelitian



Gambar III. 1 Bagan alur penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Uji Karakteristik Material

IV.1.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat

Serangkaian hasil pengujian sifat fisik agregat yang digunakan dalam penelitian ini, secara keseluruhan memenuhi standar yang disyaratkan dalam pengujian mutu agregat. Pengujian dilakukan di Laboratorium 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). Dengan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel IV.1

Tabel IV. 1 Karakteristik Sifat-sifat fisik Agregat Kasar (Kerikil)

No	Nama Pengujian	Nilai Yang disyaratkan	Hasil Pengujian	keterangan
1	Penyerapan Air (%)	Maks. 3	1.63	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)			
	1. Berat Jenis Bulk	Maks.3	2.75	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maks. 3	2.8	Memenuhi
	3. Berat Jenis Semu	Maks.3	2.88	Memenuhi
3	Keausan (%)	Maks.40	30.28	Memenuhi
4	Indeks Kepipihan	Maks.10	24.8	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis Data, 2022

IV.1.3 Sifat Fisik Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang lolos pada saringan No.8 dan tertahan di saringan No.200, yang berasal dari sungai jembatan Lasape yang berlokasi di Jl. Poros Pinrang-Polman, Massewae, Duampanua, Kabupaten Pinrang. Hasil pengujian dari sifat fisik agregat kasar

dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Dengan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel IV.2.

Tabel IV. 2 Karakteristik Sifat-sifat Agregat Halus (Pasir)

No.	Nama Pengujian	Nilai Yang disyaratkan	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Penyerapan %	Maks.3	1,22	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi			
	a. Berat Jenis bulk	Maks.3	2,58	Memenuhi
	b. Berat Jenis SSD	Maks.3	2,61	Memenuhi
	c. Berat Jenis Semu	Maks.3	2,67	Memenuhi
3	Kadar Lumpur (%)	Maks.5	1,5	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis Data, 2022

IV.1.4 Sifat-sifat Fisik Serbuk Tegel

Berikut Sifat-sifat serbuk tegel sebagai berikut:

1. Tidak kuat terhadap asam keras murni seperti HCL dan HF
2. Sangat mudah menyerap cairan mineral
3. Tahan air
4. Tidak mudah tergores
5. Permukaan halus dengan coating mencapai 9 hardness

IV.2 Gradasi Gabungan Agregat

Penentuan gradasi campuran dan mix design dalam penelitian ini mengacu pada standar gradasi terbuka yang disyaratkan oleh Road Engineering Association Of Malaysia (REAM)

Adapun perbandingan persentase dari masing-masing agregat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu antara agregat kasar: agregat halus: *filler* adalah 85% : 5% : 10%, kemudian dikalikan dengan nilai persen lolos agregat dari pengujian analisa saringan agregat yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah itu hasil dari perkalian tersebut dijumlahkan dan menghasilkan komposisi campuran atau *mix design*.

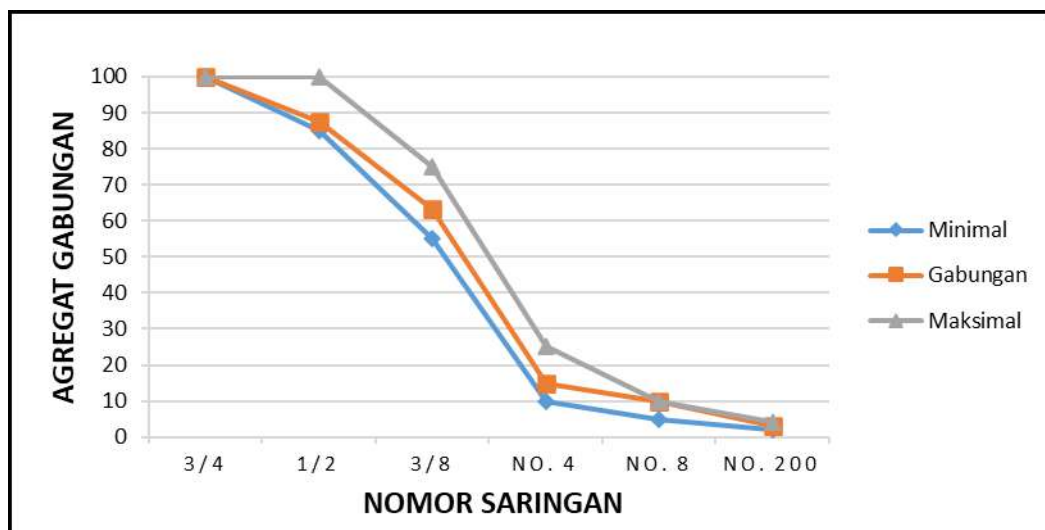
Komposisi agregat digunakan *by sieve* (dilakukan penimbangan berdasarkan ukuran saringan). Metode penentuan proporsi agregat ini tidak

dikelompokkan menurut fraksi agregat (agregat kasar, agregat halus dan filler) seperti pada metode *by partition*. Penentuan komposisi agregat dengan metode gradasi *by sieve*, terlihat pada tabel IV.3:

Tabel IV.3 Gradasi Gabungan Agregat

NOMOR SARINGAN		3/4	1/2	3/8	No. 4	No. 8	No. 200
BATU PECAH	% PASS	100,00	85,33	57,00	0,00	0,00	0,00
85	% BATCH	85	72,53	48,45	0,00	0	0,00
PASIR	% PASS	100	100,00	100,00	100,00	79,00	16,00
5	% BATCH	5	5	5	5	3,95	0,8
FILLER	% PASS	100,00	100,00	100,00	100,00	57,50	21,50
10	% BATCH	10,00	10	10,00	10	5,75	2,15
AGREGAT GABUNGAN		100,00	87,53	63,45	15,00	9,70	2,95
SPESIFIKASI		100	85-100	55-75	10-25	5-10	2-4

Hasil Analisis Data 2022



Gambar IV. 1 Grafik Gradasi Gabungan Agregat

Pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.1 menunjukkan bahwa pada gradasi gabungan agregat pada penelitian ini telah memenuhi nilai pada Spesifikasi REAM. Adapun persentase pada masing-masing agregat yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat kasar: agregat halus: filler adalah 85%: 5%: 10% serta persentase penetrasi aspal minyak 60/70 sebesar 5,5%.

IV.3 Pengujian Campuran Aspal

IV.3.1 Pengujian Marshall

Hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai parameter Marshall berupa VIM, VMA, VFB, Stabilitas, flow, dan Marshall Qestion (MQ) menggunakan gradasi REAM (*Road Engineering Association of Malaysia*).



Gambar IV. 2 Alat Pengujian Marshall

Tabel IV. 3 Hasil Pengujian Marshall Test

Variasi Substitusi Filler Bata Merah (%)	No. Sampel	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian Marshall					
			VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0	1	5,5	20,16	30,28	33,42	607,60	3,20	189,88
	2		20,22	30,33	33,34	403,00	2,10	191,90
	3		8,18	19,82	58,73	582,80	2,00	291,40
Rata-rata			16,19	26,81	41,83	531,13	2,43	224,39
25	1	5,5	1,78	14,38	86,40	775,00	1,80	430,56
	2		13,17	24,31	45,20	589,00	2,70	218,15
	3		10,75	22,20	50,87	570,40	2,60	219,38
Rata-rata			8,57	20,30	60,82	644,80	2,37	289,36
50	1	5,5	10,31	13,27	52,03	1116,00	2,30	485,22
	2		2,85	15,31	80,29	837,00	2,60	321,92
	3		5,18	17,35	69,17	694,40	1,80	385,78
Rata-rata			6,11	18,16	67,16	882,47	2,23	397,64
75	1	5,5	3,89	16,22	74,95	787,40	1,80	437,44
	2		6,42	18,42	64,27	992,00	2,60	381,54
	3		2,96	15,41	79,68	992,00	2,10	472,38
Rata-rata			4,42	16,69	72,97	923,80	2,17	430,45

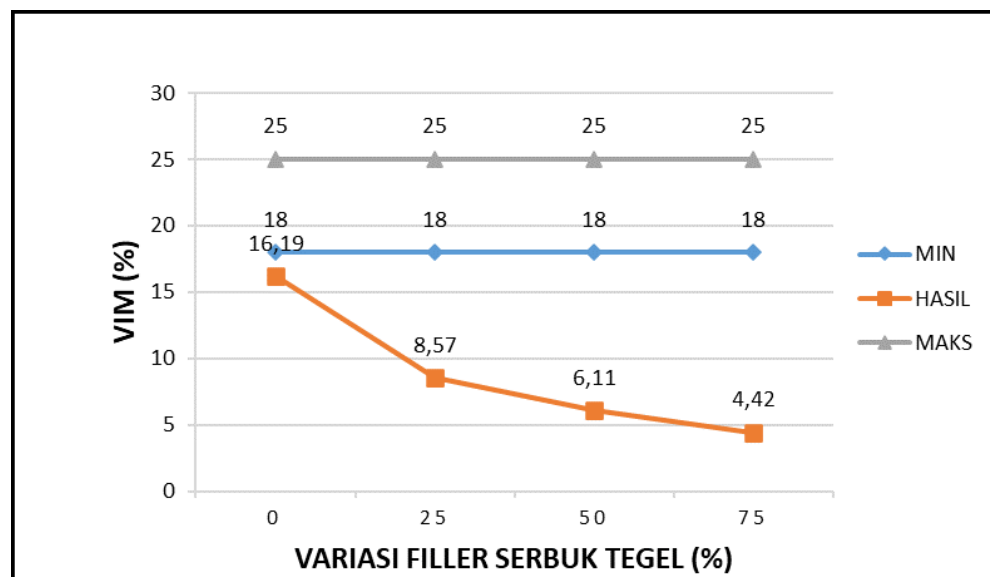
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Fajar Makassar 2022

1. VIM

VIM (*void in Mixture*) adalah banyaknya rongga yang terdapat pada campuran beraspal, dan dinyatakan dalam % terhadap total campuran.

Berdasarkan spesifikasi, nilai VIM yang disyaratkan yaitu minimal 18-25%. Campuran yang mempunyai nilai VIM $\leq 18\%$ akan memperbesar kemungkinan terjadinya bleeding. Akibat tingginya temperatur, aspal dalam campuran akan mencair sehingga saat perkerasan menerima beban, aspal akan mengalir diantara rongga agregat. Sebaliknya jika nilai VIM $\geq 25\%$ akan menunjukkan rongga yang terdapat didalam campuran besar, sehingga campuran tidak rapat dan tidak kedap terhadap udara dan air, sehingga aspal mudah teroksidasi yang menyebabkan melemahnya ikatan aspal terhadap agregat yang selanjutnya aspal tidak mampu untuk mengikat agregat.

Terlihat pada gambar IV.3

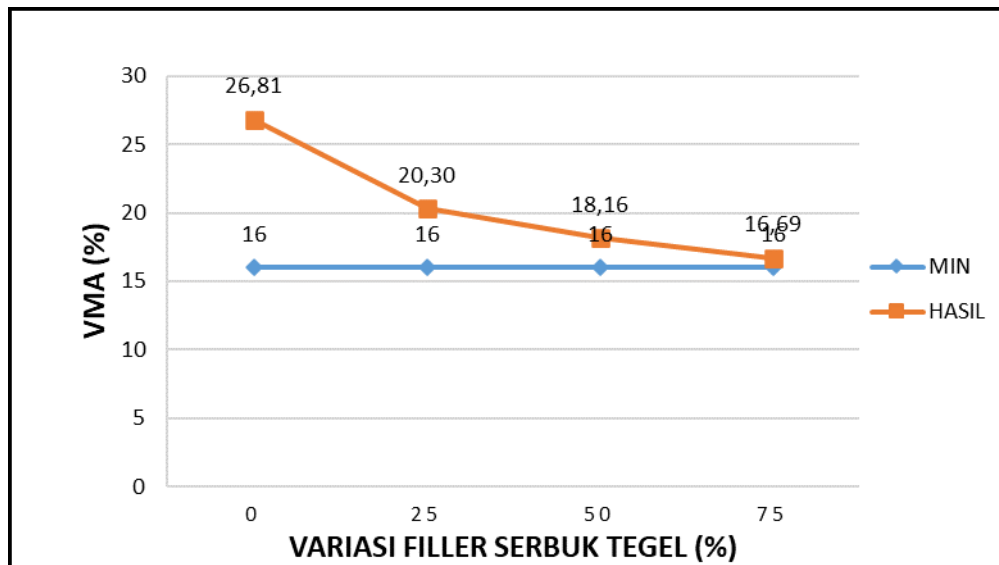


Gambar IV. 3 Grafik Nilai VIM Terhadap Variasi Filler Serbuk Tegel

Berdasarkan Gambar IV.3 terlihat bahwa dari hasil pengujian Marshall diperoleh persentase nilai VIM terhadap variasi filler serbuk tegel untuk 0% sebesar 16,19%, 25% sebesar 8,57%, 50% sebesar 6,11%, dan 75% sebesar 4,42%. Dari data yang diperoleh semua variasi tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, dimana semakin banyak penggunaan filler dengan serbuk tegel, semakin menurun pula nilai rongga udara. Oleh karena itu, serbuk tegel belum layak digunakan berdasarkan nilai VIM yang diperoleh.

2. VMA

VMA, *void in material agregat*, adalah nilai pori dalam agregat campuran VMA menunjukkan banyak pori diantara butir-butir agregat didalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Nilai VMA dapat juga dinyatakan sebagai rongga yang tersedia untuk ditempati volume aspal dan udara yang diperlukan dalam campuran agregat dan aspal. Nilai VMA dipengaruhi oleh gradasi agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal. Nilai VMA berpengaruh terhadap sifat kekedapan dan keawetan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan potensi terjadinya *bleeding* pada saat perkerasan menerima beban pada temperatur yang tinggi. Nilai VMA yang terlalu rendah akan menyebabkan lapisan kurang dapat mengikat aspal sehingga akan mudah menjadi *raveling*, *striping* dan lain sebagainya. Berdasarkan spesifikasi REAM (2008), nilai spesifikasi VMA yang disyaratkan yaitu minimal 16%. Terlihat pada Gambar IV.4



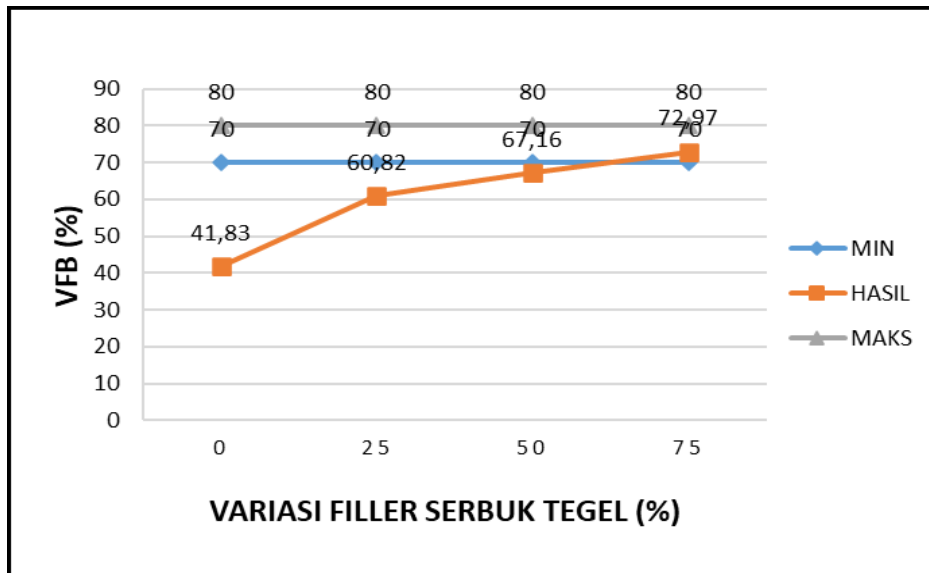
Gambar IV. 4 Grafik Nilai VMA Terhadap Substitusi Serbuk Tegel

Berdasarkan Gambar IV.4 terlihat bahwa dari hasil pengujian Marshall diperoleh persentase nilai VMA terhadap variasi filler serbuk tegel untuk 0% sebesar 26,81%, 25% sebesar 20,30%, 50% sebesar 18,16% dan 75% sebesar 16,69%. Berdasarkan nilai-nilai yang diperoleh, semua variasi substitusi filler

serbuk tegel memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Oleh karena itu, serbuk tegel layak digunakan berdasarkan nilai VMA yang diperoleh.

3. VFB

VFB adalah banyaknya rongga yang terisi oleh aspal, sehingga VFB merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Pengaruh nilai VFB ini adalah terhadap kekuatan ikatan material agregat pada campuran, yang apabila semakin kecil akan menyebabkan lapisan kurang kedap terhadap air dan udara, karena banyak rongga yang kosong. Hal ini akan memudahkan air dan udara yang akan melarutkan bagian aspal yang teroksidasi tersebut, sehingga keawetan campuran berkurang, namun jika terlalu besar menunjukkan semakin banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedapatan campuran terhadap air dan udara menjadi lebih tinggi. Namun nilai VFB terlalu tinggi akan berpotensi terjadinya *bleeding* atau naiknya aspal ke permukaan maka nilai stabilitas akan menurun. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VFB adalah gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperatur pemadatan. Berdasarkan spesifikasi REAM (2008) nilai spesifikasi VFB disyaratkan yaitu 70-60%. Terlihat pada gambar IV.5



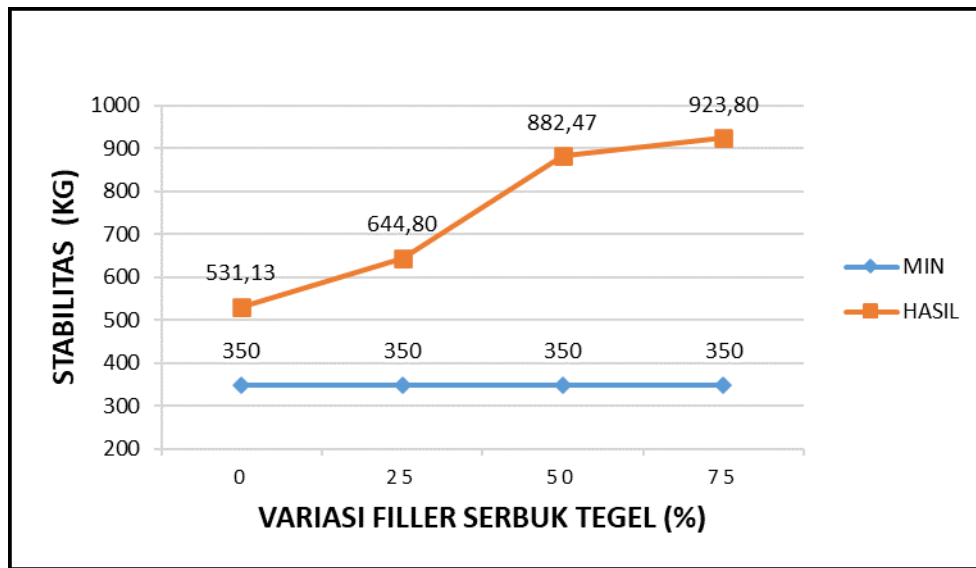
Gambar IV. 5 Grafik Nilai VFB Terhadap Substitusi Serbuk Tegel

Berdasarkan Gambar IV.5 terlihat bahwa dari hasil pengujian Marshall diperoleh persentase nilai VFB terhadap variasi filler serbuk tegel untuk 0%

sebesar 41,83%, 25% sebesar 60,82%, 50% sebesar 67,16% dan 75% sebesar 72,97%. Dari data tersebut diperoleh bahwa semua variasi filler serbuk tegel tidak memenuhi spesifikasi, ini disebabkan aspal pada campuran terlalu sedikit sehingga sulit untuk mengisi rongga diantara agregat saat proses pemadatan, dan juga besarnya penyerapan aspal oleh agregat dan filler, sehingga sisa aspal yang menutup rongga menjadi sedikit membuat persen rongga dalam campuran yang terisi aspal menjadi sedikit. Oleh karena itu, serbuk tegel belum layak digunakan berdasarkan nilai VFB yang diperoleh.

4. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa perkerasan tersebut mampu menahan beban lalu lintas yang besar. Pada pengujian marshall laboratorium, stabilitas adalah kemampuan aspal untuk menerima beban sampai terjadinya kelelahan plastis yang dinyatakan dalam satuan kilogram. Nilai stabilitas tergantung dari gaya saling mengunci bantuan (internal friction) dan kelekatan (cohesion). Internal friction tergantung pada tekstur permukaan, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan kadar aspal. Stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan perkerasan akan menjadi kaku dan bersifat getas, sedangkan stabilitas yang rendah mengakibatkan perkerasan cenderung lebih fleksibel sehingga mudah mengalami rutting. Berdasarkan spesifikasi REAM yang mensyaratkan nilai minimal pada stabilitas adalah 350kg. Dapat dilihat pada gambar IV.6



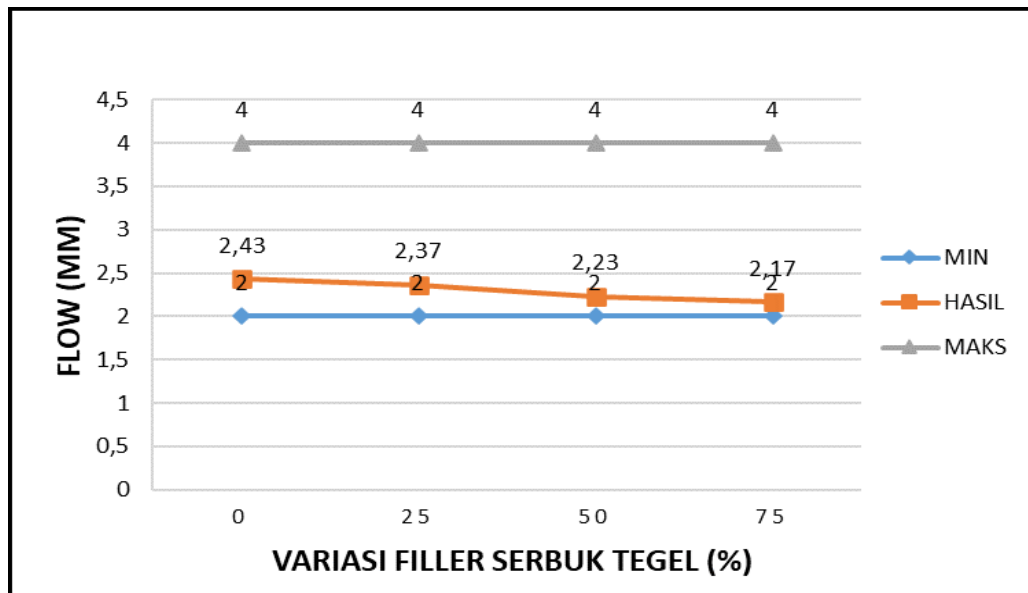
Gambar IV. 6 Grafik Nilai Stabilitas Terhadap Variasi Substitusi Filler Serbuk Tegel

Dapat dilihat pada Gambar IV.6 terlihat bahwa dari hasil pengujian Marshall diperoleh besar nilai Stabilitas terhadap variasi filler serbuk tegel untuk 0% sebesar 531,13kg, 25% sebesar 644,80kg, 50% sebesar 882,47kg, dan 75% sebesar 923,80kg. Berdasarkan nilai-nilai yang diperoleh dari hasil penelitian, semua variasi substitusi serbuk tegel memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Hal tersebut mengindikasikan penggunaan serbuk tegel sebagai filler mampu menahan beban lalu lintas. Oleh karena itu, serbuk tegel layak digunakan berdasarkan nilai stabilitas yang diperoleh.

5. Flow

Kelelahan (flow) merupakan keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan panjang (mm). Kelelahan suatu campuran menunjukkan tingkat kelenturan lapisan perkerasan, tingkat kelelahan tersebut lebih banyak ditentukan oleh aspalnya, terutama sifat daktilitas, aspal yang mempunyai sifat daktilitas rendah dalam campuran akan menghasilkan lapis perkerasan yang flekibilitasnya rendah. Campuran yang mempunyai flow rendah dengan stabilitas tinggi cenderung kaku sehingga mudah mengalami retak apabila menerima beban yang melebihi daya dukungnya. Sebaliknya nilai flow yang tinggi dengan stabilitas yang rendah

cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk bila menerima beban lalu lintas. Nilai flow dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperatur pemadatan. Berdasarkan nilai spesifikasi REAM, flow yang disyaratkan yaitu 2.0-4.0 mm. Dapat dilihat pada Gambar IV.7

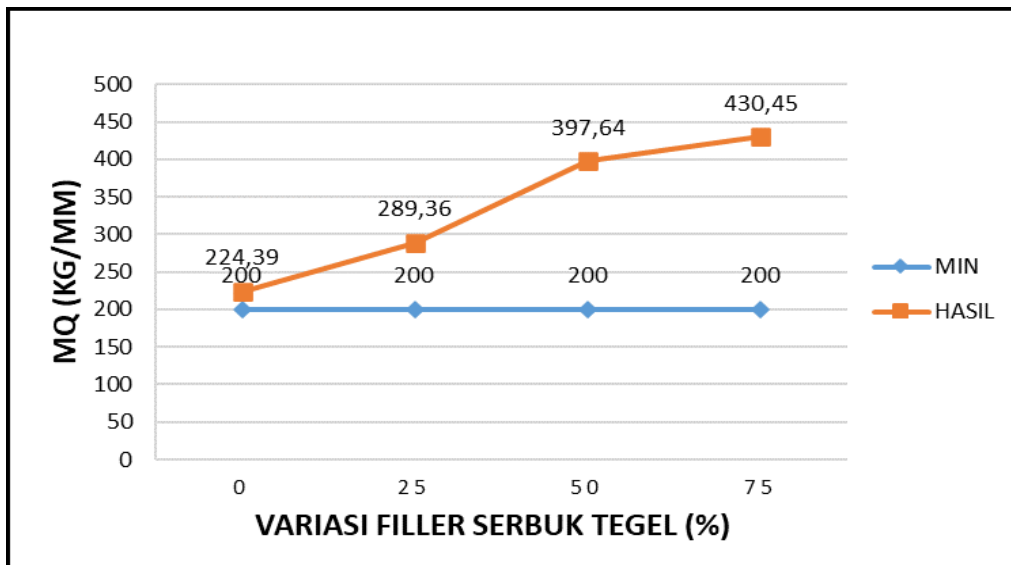


Gambar IV. 7 Grafik Nilai Flow Terhadap Variasi Substitusi Filler Serbuk Tegel

Terlihat pada Gambar IV.7 terlihat bahwa dari hasil pengujian Marshall diperoleh satuan nilai Flow terhadap variasi filler serbuk tegel untuk 0% sebesar 2,43mm, 25% sebesar 2,37mm, 50% sebesar 2,23mm, dan 75% sebesar 2,17mm. Berdasarkan nilai-nilai yang diperoleh, semua variasi substitusi filler serbuk tegel memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Oleh karena itu, serbuk tegel layak digunakan berdasarkan nilai flow yang diperoleh.

6. Marshall Quotient (MQ)

Nilai Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (flow). Nilai marshall quotient digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas dari suatu lapisan perkerasan. Stabilitas yang tinggi disertai nilai flow yang rendah menyebabkan perkerasan menjadi kaku dan getas. Sebaliknya stabilitas yang rendah dan flow yang tinggi menunjukkan campuran lebih bersifat plastis dan apabila menerima beban lalu lintas, maka perkerasan akan mengalami deformasi. Nilai spesifikasi marshall quotient yang disyaratkan yaitu minimal 200 kg/mm. Dapat dilihat pada Gambar IV.8



Gambar IV. 8 Grafik Nilai MQ Terhadap Variasi Substitusi Filler Serbuk Tegel

Berdasarkan Gambar IV.8 terlihat bahwa dari hasil pengujian Marshall diperoleh satuan nilai MQ terhadap variasi filler serbuk tegel untuk 0% sebesar 224,39kg/mm, 25% sebesar 289,36kg/mm, 50% sebesar 397,64kg/mm, dan 75% sebesar 430,45kg/mm. Dari data yang diperoleh, semua variasi memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, dengan semakin besar proporsi kadar filler serbuk tegel, maka nilai MQ semakin bertambah. Hal ini mengindikasikan bahwa aspal yang melekat dan terabsorbsi kedalam agregat mampu memperkuat campuran aspal sehingga tertahan dari deformasi atau perubahan bentuk. Oleh karena itu, serbuk tegel layak digunakan berdasarkan nilai MQ yang diperoleh.

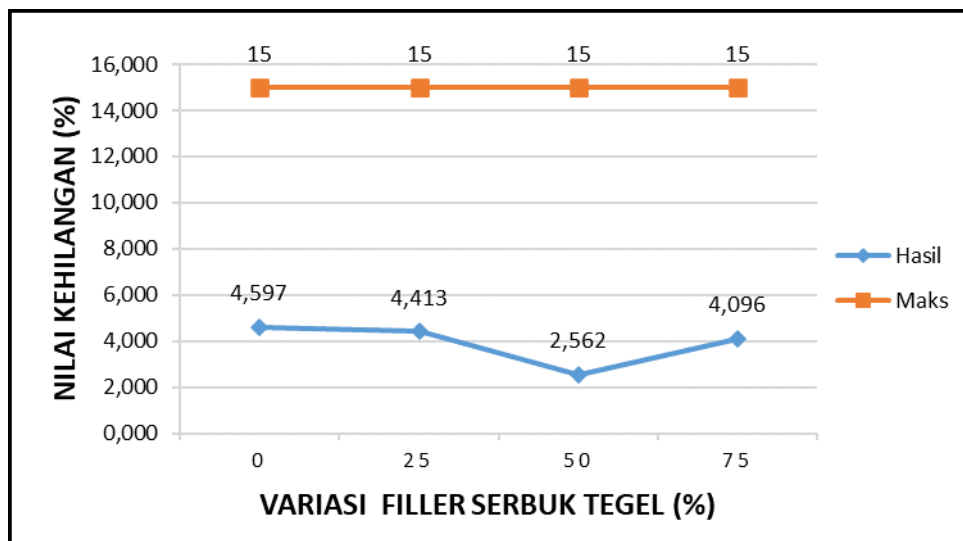
IV.3.2 Pengujian Cantabro

Dari hasil pengujian, berdasarkan spesifikasi yang telah disyaratkan oleh REAM, 2008 bahwa batas nilai kehilangan berat (cantabro) yang dapat terjadi dari campuran aspal porus adalah tidak dibolehkan lebih dari 15%. Ketahanan suatu benda uji ditunjukkan dari pengujian cantabro. Dimana makin sedikit nilai kehilangan berat pada benda uji berarti semakin tahan benda uji tersebut. Dapat dilihat pada Gambar IV.9

Tabel IV. 4 Hasil Rata-rata Pengujian Cantabro

Variasi Filler Serbuk Bata Merah	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 REAM
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0	1	5,5	1191	1150	41	3,442	Maks.15
	2		1190	1145	45	3,782	
	3		1188	1110	78	6,566	
Rata-Rata			1190	1135	55	4,597	
25	1	5,5	1175	1135	40	3,404	
	2		1182	1140	42	3,553	
	3		1146	1074	72	6,283	
Rata-Rata			1168	1116	51	4,413	
50	1	5,5	1180	1149	31	2,627	
	2		1178	1143	35	2,971	
	3		1197	1172	25	2,089	
Rata-Rata			1185	1155	30	2,562	
75	1	5,5	1209	1150	59	4,880	
	2		1182	1144	38	3,215	
	3		1216	1165	51	4,194	
Rata-Rata			1202	1153	49	4,096	

Hasil Analisis Data 2022



Gambar IV. 9 Grafik Hasil Pengujian Cantabro

Terlihat pada Gambar IV.9 terlihat bahwa dari hasil pengujian Cantabro diperoleh nilai kehilangan terhadap variasi filler serbuk tegel untuk 0% sebesar 4,597%, 25% sebesar 4,413%, 50% sebesar 2,562%, dan 75% sebesar 4,096%. Semua variasi memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Oleh karena itu, serbuk tegel layak digunakan berdasarkan nilai kehilangan yang diperoleh.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan nilai karakteristik Marshall dan kehilangan berat pada Cantabro Test yaitu:

1. Hasil kinerja Marshall pada benda uji gradasi Bina Marga sebagai berikut:
 - a. Nilai VIM pada variasi serbuk tegel untuk 0% sebesar 16,19% (Tidak Memenuhi), 25% sebesar 8,57% (Tidak Memenuhi), 50% sebesar 6,11% (Tidak Memenuhi), 75% sebesar 4,42% (Tidak Memenuhi).
 - b. Nilai VMA pada variasi serbuk tegel 0% sebesar 26,81% (memenuhi), 25% sebesar 20,30% (memenuhi), 50% sebesar 18,16% (memenuhi), 75% sebesar 16,69% (memenuhi).
 - c. Nilai VFB pada variasi serbuk tegel 0% sebesar 41,83%(tidak memenuhi), 25% sebesar 60,82% (tidak memenuhi), 50% sebesar 67,16% (tidak memenuhi), 75% sebesar 72,97% (memenuhi).
 - d. Nilai Stabilitas pada variasi serbuk tegel 0% sebesar 531,13 kg (memenuhi), 25% sebesar 644,80 kg (memenuhi), 50% sebesar 882,47 kg (memenuhi), 75% sebesar 923,80 kg (memenuhi).
 - e. Nilai Flow pada variasi serbuk tegel 0% sebesar 2,43 mm (memenuhi), 25% sebesar 2,37 mm (memenuhi), 50% sebesar 2,23 mm (memenuhi), 75% sebesar 2,17 mm (memenuhi).
 - f. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada variasi serbuk tegel 0% sebesar 224,39 kg/mm (memenuhi), 25% sebesar 289,36 kg/mm (memenuhi), 50% sebesar 397,64 kg/mm (memenuhi), 75% sebesar 430,45 kg/mm (memenuhi).
2. Berdasarkan nilai pengujian Cantabro, diperoleh bahwa semua variasi filler serbuk tegel memenuhi spesifikasi REAM yaitu maksimal nilai kehilangan 15%. Nilai kehilangan terkecil pada variasi filler serbuk tegel yaitu 50%, sebesar 2,562%.

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan spesifikasi yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan kadar serbuk tegel yang berbeda.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan kadar aspal yang berbeda.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan agar memenuhi semua karakteristik marshall, terutama nilai VIM dan VFB.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, Mohammad Zainudin, And Dwi Kartikasari (2018). "Substitusi Filler Pada Campuran Aspal Dengan Fly Ash Dan Serbuk Batu Bata." *Civilla: Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan* 3.1: hlm124-133.
- Abzarih, A. W. (2020). Studi Eksperimental Sifat Marshall Ac-Wc Menggunakan Tegel Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil Unidayan*, 9(1), hlm 48-53.
- Akmalia, R., Olivia, M., & Kamaldi, A. (2016). Kuat Tekan dan Sorptivity Beton Dengan Serbuk Kulit Kerang (Anadara Granosa) (Doctoral dissertation, Riau University).
- Arif, Muhamad Syaiful. (2018). "Penggunaan Bahan Pengisi (Filler) Serbuk Keramik, Ditinjau Dari Parameter Marshall Pada Lapis Aspal Beton (Laston)." *Jurnal Rekayasa Sipil* 1.1.
- Arliningtyas, Swasti, And Nadia Nadia. (2016). "Analisa Kelayakan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Agregat Halus Untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau Dari Nilai Stabilitas Marshall." *Konstruksia* 8.1: hlm 47-59.
- Bakarbessy, D., & Pattireuw, Y. Y. (2019). Pemanfaatan Abu Bata Merah Sebagai Pengganti Filler Pada Campuran Aspal Beton (Laston). *Jurnal Portal Sipil*, 8(1), hlm 72-85.
- Fadli, Feri.(2021). "Pengaruh Penambahan Limbah Keramik Sebagai Filler Pada Lapisan Perkerasan Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc)." *Jurnal Karajata Engineering* 1.1: hlm 53-62.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova.
- Sukirman, S. 2003. (2016). Beton Aspal Campuran Panas. In *Institut Teknologi Nasional* (Pp. hlm1–167).
- Purnama, S. A., & Sudiby, T. (2018). Pengaruh Limbah Keramik Dan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Bata Beton. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 3(3), hlm 161-170.



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 : Erdin Mamata
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 (Atas Dasar Kering Permukaan)	$\frac{B}{B - C}$	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, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

Dr. Erdawaty, ST., MT.)
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



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 : Erdin Mamata
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 (Atas Dasar Kering Permukaan)	$\frac{500}{B + 500 - C}$	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, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik sipil
Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT.)
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



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 : Erdin Mamata
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 5000gr (Chipping)

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	3202	2500	3770
1/2"	3/8"	2500		2500	
Jumlah Berat (gram)		5000		5000	
Berat Tertahan Saringan No. 8		3202		3770	
Keausan		$\frac{5000-3202}{5000} \times 100\% = 35,96\%$		$\frac{5000-3770}{5000} \times 100\% = 24,60\%$	
$\frac{A-B}{A} \times 100\%$					
Rata-rata		30,28%			

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST, MT.)
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



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 : Erdin Mamata
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr (Chipping)

Nomor	Gradasi Saringan		Ukuran Thickness Gauge		Berat Lolos Slot (Gram)	Berat Tertahan Slot (Gram)	Total Berat (Gram)
			Lebar (mm)	Panjang (mm)			
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 = $\frac{\text{Total Berat A}}{\text{Total Berat C}} \times 100\%$					$\frac{248}{1000} \times 100\% = 24,8\%$		

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty ST., MT.)
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



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 : Erdin Mamata
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr (Pasir)

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

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A}{B} \times 100\% = 1,5\%$$

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT.)
KOORDINATOR LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



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 : Erdin Mamata
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1500gr (Chipping)

NOMOR SARINGAN	BERAT TERTAHAN	PERSEN TERTAHAN	Σ PERSEN TERTAHAN	PERSEN LOLOS
	gram	%	%	%
3/4'	0	0,00	0,000	100,00
1/2'	220	14,67	14,667	85,33
3/8'	425	28,33	43,000	57,00
4	855	57,00	100,000	0,00
8	0	0,00	100,000	0,00
200	0	0,00	100,000	0,00
Pan	0	0,00	100,000	0,00
Jumlah	1500	100,00	457,667	242,33

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT.)
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



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 : Erdin Mamata
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr (Pasir)

NOMOR	BERAT	PERSEN	Σ PERSEN	PERSEN
SARINGAN	TERTAHAN	TERTAHAN	TERTAHAN	LOLOS
	gram	%	%	%
3/4'	0	0,00	0,000	100,00
1/2'	0	0,00	0,000	100,00
3/8'	0	0,00	0,000	100,00
4	0	0,00	0,000	100,00
8	210	21,00	21,000	79,00
200	630	63,00	84,000	16,00
Pan	160	16,00	100,000	0,00
Jumlah	1000	100	205	495,00

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT.)
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



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 : Erdin Mamata

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1000gr (Abu Batu)

NOMOR SARINGAN	BERAT TERTAHAN	PERSEN TERTAHAN	Σ PERSEN TERTAHAN	PERSEN LOLOS
mm	gram	%	%	%
3/4'	0	0,00	0,000	100,00
1/2'	0	0,00	0,000	100,00
3/8'	0	0,00	0,000	100,00
4	0	0,00	0,000	100,00
8	450	45,00	45,000	55,00
200	278	27,80	72,800	27,20
Pan	272	27,20	100,000	0,00
Jumlah	1000	100	217,8	482,20

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

KOORDINATOR LABORATORIUM
TEKNIK SIPIL (Dr. Erda Wafiq, S.T., MT.)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 9 Pemeriksaan Analisis Data Briket Gradasi REAM

Dikerjakan : Erdin Mamata

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Kadar Aspal : 5,5%

=> Material Chipping = (100% - 5,5%) x 85% x 1200

3/4"	= (100% - 100%) x 963,9	= 0,00 gram
1/2"	= (100% - 85,33%) x 963,9	= 141,40 gram
3/8"	= (85,33% - 57,00%) x 963,9	= 273,07 gram
no. 4	= (57,00% - 0,00%) x 963,9	= 549,42 gram
no. 8	= (0,00% - 0,00%) x 963,9	= 0,00 gram
no. 200	= (0,00% - 0,00%) x 963,9	= 0,00 gram
PAN	= (0,00% - 0%) x 963,9	= 0,00 gram

=> Material Pasir = (100% - 5,5%) x 5% x 1200

3/4"	= (100% - 100%) x 56,7	= 0,00 gram
1/2"	= (100% - 100%) x 56,7	= 0,00 gram
3/8"	= (100% - 100%) x 56,7	= 0,00 gram
no. 4	= (100% - 100%) x 56,7	= 0,00 gram
no. 8	= (100% - 79,00%) x 56,7	= 11,91 gram
no. 200	= (79,00% - 16,00%) x 56,7	= 35,72 gram
PAN	= (16,00% - 0,00%) x 56,7	= 9,07 gram

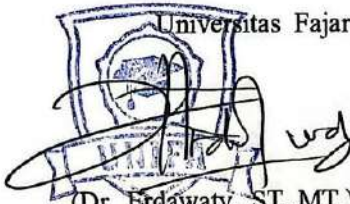
=> Material Debu Batu = (100% - 5,5%) x 10% x 1200

3/4"	= (100% - 100%) x 113,4	= 0,00 gram
1/2"	= (100% - 100%) x 113,4	= 0,00 gram
3/8"	= (100% - 100%) x 113,4	= 0,00 gram
no. 4	= (100% - 100%) x 113,4	= 0,00 gram
no. 8	= (100% - 57,50%) x 113,4	= 48,20 gram
no. 200	= (57,50% - 21,50%) x 113,4	= 40,82 gram
PAN	= (21,50% - 0,00%) x 113,4	= 24,38 gram

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT.)
KORPORASI LABORATORIUM TEKNIK SIPIL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basnlamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 10 Mix Design

Dikerjakan : Erdin Mamata
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Kadar Aspal : 5,5%

Saringan	Cipping	Pasir	Abu Batu	Total
3/4"	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	141,40	0,00	0,00	141,40
3/8"	273,07	0,00	0,00	273,07
no. 4	549,42	0,00	0,00	549,42
no. 8	0,00	11,91	48,20	60,10
no. 200	0,00	35,72	40,82	76,55
PAN	0,00	9,07	24,38	33,45
Berat Total Agregat				1134
Berat Aspal Pen.60/70				66
TOTAL				1200

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar


(Dr. Erdawaty, ST., MT.)
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 11 Analisis Data Variasi Filler Abu Buah Pinus Gradasi REAM

Dikerjakan : Erdin mamata
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Kadar Aspal : 5,5%

Variasi Filler	Abu Batu (100%)	Serbuk Tegel	Abu Batu
0%	24,38	0	24,38
25%	24,38	6,10	18,28
50%	24,38	12,19	12,19
75%	24,38	18,28	6,10

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil
Universitas Fajar


(Dr. Erdawaty, ST, MT.)
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 902331

Lampiran 12 Analisis Data Pengujian Marshall Test

Dikerjakan : Erdin Mamata

Variasi Filler	No. Sampel	Kadar Aspal terhadap		Berat (Gram)			Volume Benda Uji	Bj. Bulk Campuran	Bj. Maksimum Campuran	% Total Volume			Rongga Dalam Camp. Agr (%)	Rongga Terisi Aspal (%)	Stabilitas - Kg				Kelelahan mm	Quotient Marshall (Kg/mm)	
				Di udara	dlm air	K. pemntkaan				Eff. Aspal	Agregat	Rongga Udara			Dibaca		Disesuaikan				
		(in air)	(in water)	(SSD)	cm ³	Unit Weight (Gmb)	(Gmm)	VMA	VFB				VIM	Stability		Flow					
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
		Berat Campuran	Berat Agregat											Angka Korelasi	Pembacaan Arloji Stabilitas	Angka Kalibrasi	Stability	Koreksi Stabilitas	Q/R		
0%	1	5,5	5,82	1132	540	1160	592	1,96	2,45	10,12	69,72	30,28	33,42	20,16	0,76	98,00	6,20	607,60	607,60	3,20	189,88
	2	5,5	5,82	1139	543	1167	596	1,96	2,45	10,11	69,67	30,33	33,34	20,22	0,76	65,00	6,20	403,00	403,00	2,10	191,90
	3	5,5	5,82	1211	663	1235	548	2,25	2,45	11,64	80,18	19,82	58,73	8,18	0,76	94,00	6,20	582,80	582,80	2,00	291,40
	Rata-rata	5,5	5,82	1160,67	582,00	1187,33	578,67	2,06	2,45	10,62	73,19	26,81	41,83	16,19	0,76	85,67	6,20	531,13	531,13	2,43	226,39
25%	1	5,5	5,82	1115	640	1143	475	2,41	2,45	12,43	85,62	14,38	86,40	1,78	0,76	125,00	6,20	775,00	775,00	1,80	430,56
	2	5,5	5,82	1229	648	1236	581	2,13	2,45	10,99	75,69	24,31	45,20	13,17	0,76	95,00	6,20	589,00	589,00	2,70	218,15
	3	5,5	5,82	1223	655	1242	568	2,19	2,45	11,29	77,80	22,20	50,87	10,75	0,76	92,00	6,20	570,40	570,40	2,60	219,38
	Rata-rata	5,5	5,82	1189,00	647,67	1207,00	541,33	2,24	2,45	11,57	79,70	20,30	60,82	8,57	0,76	104,00	6,20	644,80	644,80	2,37	289,36
50%	1	5,5	5,82	1230	668	1235	562	2,20	2,45	11,35	78,19	21,81	52,03	10,31	0,76	180,00	6,20	1116,00	1116,00	2,30	485,22
	2	5,5	5,82	1166	669	1183	497	2,38	2,45	12,29	84,69	15,31	80,29	2,85	0,76	135,00	6,20	837,00	837,00	2,60	321,92
	3	5,5	5,82	1180	660	1208	520	2,32	2,45	12,00	82,65	17,35	69,17	5,18	0,76	112,00	6,20	694,40	694,40	1,80	385,78
	Rata-rata	5,5	5,82	1192,00	665,67	1208,67	526,33	2,30	2,45	11,88	81,84	18,16	67,16	6,11	0,76	142,33	6,20	882,47	882,47	2,23	397,64
75%	1	5,5	5,82	1167	665	1182	502	2,35	2,45	12,16	83,78	16,22	74,95	3,89	0,76	127,00	6,20	787,40	787,40	1,80	437,44
	2	5,5	5,82	1189	663	1206	526	2,29	2,45	11,84	81,58	18,42	64,27	6,42	0,76	160,00	6,20	992,00	992,00	2,60	381,54
	3	5,5	5,82	1162	664	1184	498	2,38	2,45	12,28	84,59	15,41	79,68	2,96	0,76	160,00	6,20	992,00	992,00	2,10	472,38
	Rata-rata	5,5	5,82	1172,67	664,00	1190,67	508,67	2,34	2,45	12,09	83,31	16,69	72,97	4,42	0,76	149,00	6,20	923,80	923,80	2,17	430,45



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl.Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 902331

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Dr. Erdawaty, S.T., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 13 Analisis Data Pengujian Cantabro

Dikerjakan : Erdin Mamata

Variasi Filler Serbuk Bata Merah (%)	No. Sample	Kadar Aspal (%)	Berat Sebelum Pengujian (Mo) (gr)	Berat Setelah Pengujian (Mi) (gr)	Kehilangan Berat (Mo-Mi) (gr)	Rata-Rata Kehilangan Berat $\frac{(Mo-Mi)}{Mo} \times 100\%$ (%)	Spesifikasi REAM (%)		
0	1	5,5	1191	1150	41	3,442	Maks.15		
	2		1190	1145	45	3,782			
	3		1188	1110	78	6,566			
	Rata-Rata		1190	1135	55	4,597			
25	1	5,5	1175	1135	40	3,404		Maks.15	
	2		1182	1140	42	3,553			
	3		1146	1074	72	6,283			
	Rata-Rata		1168	1116	51	4,413			
50	1	5,5	1180	1149	31	2,627			Maks.15
	2		1178	1143	35	2,971			
	3		1197	1172	25	2,089			
	Rata-Rata		1185	1155	30	2,562			
75	1	5,5	1209	1150	59	4,880	Maks.15		
	2		1182	1144	38	3,215			
	3		1216	1165	51	4,194			
	Rata-Rata		1202	1153	49	4,096			

Makassar, 27 Juli 2022

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik Sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty S.H., MT.)
ROUPEL LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 1 : Dokumentasi Penelitian



Proses Pencucian Agregat



Proses Penyaringan Agregat



Proses Pemanasan Agregat



Proses Penumbukan Pada
Campuran



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231



Sampel yang siap untuk diuji



Penimbangan Sebelum Pengujian Marshall



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231



Perendaman pada Water Bath



Pengujian Marshall



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231



Pengujian Cantabro