

TUGAS AKHIR SATRIA PRADANA

by Turnitin

Submission date: 03-Jul-2025 09:44AM (UTC-0700)

Submission ID: 2709471036

File name: V4bal7k9uOggfkY9713B.docx (9.48M)

Word count: 31822

Character count: 189201

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN NILAI STABILITAS *MARSHALL* PADA
CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK
TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN BATU KAPUR
SEBAGAI *FILLER***



Disusun Oleh :

SATRIA PRADANA

1432100058

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2025**

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN NILAI STABILITAS *MARSHALL* PADA CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN BATU KAPUR SEBAGAI *FILLER*

Disusun Sebagai Syarat Meraih Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya



Disusun Oleh :

SATRIA PRADANA

1432100058

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2025**

FINAL PROJECT

**COMPARISON OF MARSHALL STABILITY VALUES IN
AC-WC MIXTURES USING TILE KILN SCALE WASTE
AND LIMESTONE AS FILLER**

Prepared By Requirement to Obtain a Bachelor of Engineering (S.T.)
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya



Compiled By :

SATRIA PRADANA

1432100058

**CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2025**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama : Satria Pradana
NBI : 1432100058
Program Studi : TEKNIK SIPIL
Fakultas : TEKNIK
Judul : PERBANDINGAN NILAI STABILITAS
MARSHALL PADA CAMPURAN AC-WC
MENGUNAKAN LIMBAH KERAK
TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN
BATU KAPUR SEBAGAI FILLER

Disetujui Oleh,

Dosen Pembimbing

Ir. Nurani Hartatik, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng
NPP. 2043F.15.0658

Mengetahui,

Dekan
Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Ketua
Program Studi Teknik Sipil
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Dr. Ir. Sajiyo, M.Kes., IPU., ASEAN Eng.
NPP. 20410.90.0197

Ir. Faradlillah Saves, S.T., M.T.
NPP. 20430.15.0674

LEMBAR **PERNYATAAN ORIGINAL**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Satria Pradana
NBI : 1432100058
Alamat : Klumprik Gg. Makam No. 17 RT02/RW02, Surabaya.
Telepon/HP : 0878 1107 3491

¹ Menyatakan bahwa **“TUGAS AKHIR”** yang saya buat untuk memenuhi persyaratan kelulusan trata (S1) Teknik Sipil – Program Sarjana – Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dengan judul :

“PERBANDINGAN NILAI STABILITAS *MARSHALL* PADA CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN BATU KAPUR SEBAGAI *FILLER*”

¹ Adapun hasil karya saya sendiri dan bukan duplikasi dari karya orang lain. Selanjutnya apabila dikemudian hari klaim dari pihak lain bukan tanggung jawab pembimbing dan atau pengelola program, tetapi menjadi tanggung jawab saya sendiri.

Atas hal tersebut saya bersedia menerima sanksi, sesuai dengan hukum atau aturan yang berlaku di Indonesia.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa paksaan siapapun.

Surabaya, 2025

Yang menyertakan,

Satria Pradana
(1432100058)



UNIVERSITAS
17 AGUSTUS 1945
SURABAYA

BADAN PERPUSTAKAAN
JL. SEMOLOWARU 45 SURABAYA
TELP. 031 593 1800 (Ext. 311)
e-mail : perpus@untag-sby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai Civitas Akademik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Satria Pradana
NBI : 1432100058
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Jenis Karya : Skripsi/Tesis/Disertasi/Laporan Penelitian/Praktek*

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui memberikan kepada Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“PERBANDINGAN NILAI STABILITAS MARSHALL PADA CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN BATU KAPUR SEBAGAI FILLER”

Dengan **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right)**, Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya berhak menyimpan, mengalihkan media atau memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, mempublikasikan karya ilmiah saya selama tetap tercantum.

Dibuat di : Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Pada Tanggal : 2025

Surabaya, 2025

Satria Pradana
(1432100058)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan Syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan Rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Perbandingan Nilai Stabilitas *Marshall* pada Campuran AC-WC Menggunakan Limbah Kerak Tungku Pembakaran Genteng dan Batu Kapur Sebagai *Filler*” sebagai sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan tersebut tidak dapat diraih tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, serta semangat tiada henti, yang memotivasi penulis untuk terus berusaha menjadi lebih baik.
2. Ibu Ir. Nurani Hartatik, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Ir. Faradlillah Saves, S.T., M.T. selaku Kaprodi Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
4. Ibu Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
5. Penghargaan yang tulus juga penulis sampaikan kepada Nazilah Rikhmatu Silmi, S.Pd. atas dukungan, waktu, dan semangat yang diberikan selama proses ini.
6. Untuk diri sendiri, saya persembahkan karya ini sebagai buah dari perjalanan panjang selama perkuliahan dan semoga menjadi pijakan awal untuk terus berkembang dan berkontribusi secara positif di masa yang akan datang.

Penulis menyadari tugas akhir ini masih memiliki kekurangan, sehingga saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat diharapkan untuk penyempurnaan. Semoga karya ini bermanfaat bagi mahasiswa Teknik Sipil dan pembaca secara umum.

Surabaya, 2025

Satria Pradana
1432100058

PERBANDINGAN NILAI STABILITAS *MARSHALL* PADA CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN BATU KAPUR SEBAGAI *FILLER*

Nama : Satria Pradana
NBI : 1432100058
Program Studi : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Ir. Nurani Hartatik, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng

ABSTRAK

Permasalahan limbah industri genteng, khususnya limbah kerak tungku pembakaran yang belum dimanfaatkan secara optimal, menjadi latar belakang penelitian ini. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi limbah tersebut sebagai bahan substitusi *filler* dalam campuran aspal beton lapis aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course/AC-WC*), sekaligus mendukung pengelolaan limbah yang ramah lingkungan. Penelitian dilakukan dengan membandingkan karakteristik *Marshall* dari campuran AC-WC yang menggunakan *filler* batu kapur dan limbah kerak tungku pembakaran genteng.

Metode penelitian mencakup uji laboratorium terhadap agregat, *filler*, dan aspal PG70, serta pengujian *Marshall* terhadap campuran dengan variasi kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Substitusi *filler* limbah dilakukan dalam variasi 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) untuk batu kapur sebesar 5,75%, sementara campuran dengan *filler* limbah menunjukkan KAO sebesar 6,25% (untuk variasi substitusi 25% dan 50%), 6,0% (variasi substitusi 75%), dan 5,75% (variasi substitusi 100%). Nilai stabilitas tertinggi tercapai pada substitusi 75% dengan stabilitas sebesar 1300,0 kg, sedangkan nilai terendah 966,7 kg pada kadar aspal 4,5%.

Berdasarkan hasil uji *Marshall*, semua variasi campuran dengan limbah menunjukkan nilai flow dan *Marshall Quotient* (MQ) telah memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Oleh karena itu, limbah kerak tungku pembakaran genteng terbukti layak sebagai alternatif *filler* dalam campuran AC-WC. Selain berkontribusi terhadap performa mekanik campuran, penggunaan limbah ini juga mendukung pengurangan pencemaran lingkungan dan pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan.

Kata Kunci : AC-WC, *Marshall*, *Filler*, Limbah Kerak Tungku

COMPARISON OF MARSHALL STABILITY VALUES IN AC-WC MIXTURES USING TILE KILN SCALE WASTE AND LIMESTONE AS FILLER

Name : Satria Pradana
Number of Student : 1432100058
Study Program : Teknik Sipil
Supervisor I : Ir. Nurani Hartatik, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng

ABSTRACT

The problem of roof tile industry waste, especially kiln slag waste that has not been optimally utilized, is the background of this research. The aim is to evaluate the waste as a filler substitute material in asphalt concrete-wearing course (AC-WC) mixtures, while supporting environmentally friendly waste management. The research was conducted by comparing the Marshall characteristics of AC-WC mixtures using limestone filler and kiln slag waste.

The research method includes laboratory tests on aggregates, fillers, and PG70 asphalt, as well as Marshall testing on mixtures with asphalt content variations from 4.5% to 6.5%. Waste filler substitution was carried out in variations of 25%, 50%, 75%, and 100%. The result showed that the optimum asphalt content (KAO) for limestone was 5.75%, while mixtures with waste filler showed KAO of 6.25% (for 25% and 50% substitution), 6.0% (75%), and 5.75% (100%). The highest stability value was achieved at 75% substitution with a stability of 1300.0 kg, while the lowest value was 966.7 kg at an asphalt content of 4.5%.

Based on the Marshall test result, all variations of the mixture with waste showed flow values and Marshall Quotient (MQ) that met the General Specification of Bina Marga (Revision 2) 2018. Therefore, the waste of the tile kiln slag is proven to be suitable as an alternative filler in the AC-WC mixture. In addition to contributing to the mechanical performance of the mixture, the use of this waste also supports the reduction of environmental pollution and sustainable use of resources.

Keyword : AC-WC, Marshall, Filler, Slag Waste

DAFTAR ISI

1 LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORIGINAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.5.1 Manfaat Untuk Penulis	5
1.5.2 Manfaat Untuk Instansi	5
1.5.3 Manfaat Untuk Penelitian Selanjutnya	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Perkerasan Lentur (Aspal)	17
2.3 Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan	19
2.4 Lapisan Aspal Beton.....	20
2.5 Agregat.....	27
2.5.1 Agregat Kasar	27

2.5.2	Agregat Halus	29
2.5.3	Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	30
2.6	Aspal Modifikasi Polimer	30
2.7	Limbah Kerak Tungku Pembakaran Genteng	33
2.8	Gradasi Agregat	35
2.9	Pengujian Agregat	36
2.9.1	Pengujian Analisa Saringan	37
2.9.2	Pengujian Berat Jenis Agregat dan Penyerapan	38
2.9.3	Pengujian Keausan Agregat Kasar	39
2.9.4	Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal	40
2.9.5	Pengujian <i>Sand Equivalent</i>	40
2.10	Perencanaan Campuran Gradasi Agregat	40
2.11	Rancangan Agregat Campuran Dengan Metode Analitis	41
2.12	Pengujian Aspal	42
2.12.1	Pengujian Penetrasi Aspal	42
2.12.2	Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	42
2.12.3	Pengujian Titik Lembek Aspal	42
2.12.4	Pengujian Berat Jenis Aspal	43
2.12.5	Pengujian Daktilitas Aspal	43
2.13	Volumetrik Campuran Beraspal	43
2.14	Kadar Aspal Rencana Awal	48
2.15	Pengujian Metode <i>Marshall</i>	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		51
3.1	Kerangka Alur Berfikir (<i>Flowchart</i>)	51
3.1.1	Diagram Pengujian Material	52
3.1.2	Diagram Pengujian Aspal	53
3.2	Penjelasan Kerangka Alur (<i>Flowchart</i>)	53
3.2.1	Studi Literatur	53
3.2.2	Pengujian Agregat	54
3.2.3	Pengujian <i>Filler</i>	54

3.2.4	Pengujian Aspal	55
3.2.5	Pembuatan Benda Uji	55
3.2.6	Pengujian Campuran Agregat dan Aspal.....	55
3.2.7	Pengujian Marshall	56
3.2.8	Nilai Kadar Aspal Optimum.....	56
3.2.9	Kesimpulan dan Saran	56
3.3	Persiapan Alat dan Bahan	56
3.3.1	Pengujian Agregat Kasar	65
3.3.2	Pengujian Agregat Halus	68
3.3.3	Pengujian Filler.....	70
3.3.4	Pengujian Aspal	71
3.3.5	Campuran Agregat.....	75
3.3.6	Campuran Agregat dan Aspal.....	75
3.3.7	Pengujian Marshall	76
3.3.8	Kadar Aspal Optimum (KAO).....	77
3.4	Lokasi Penelitian.....	78
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		79
4.1	Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	79
4.1.1	Pengujian Analisa Saringan.....	79
4.1.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan	80
4.1.3	Pengujian Keausan	82
4.1.4	Pengujian Kelekatan	83
4.2	Hasil Pengujian Agregat Halus.....	84
4.2.1	Pengujian Analisa Saringan.....	84
4.2.2	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan	85
4.2.3	Pengujian <i>Sand Equivalent</i>	86
4.3	Hasil Pengujian <i>Filler</i>	87
4.3.1	Pengujian Analisa Saringan.....	87
4.3.2	Pengujian Berat Jenis.....	88
4.4	Hasil Pengujian Aspal.....	89

4.4.1	Pengujian Berat Jenis.....	89
4.4.2	Pengujian Penetrasi.....	90
4.4.3	Pengujian Titik Nyala.....	91
4.4.4	Pengujian Titik Lembek.....	92
4.4.5	² Pengujian Daktilitas.....	92
4.5	Spesifikasi Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.....	93
4.6	Campuran Agregat.....	94
4.7	Campuran Agregat dan Aspal.....	96
4.8	Pengujian <i>Marshall</i>	99
4.8.1	Pengujian <i>Marshall Filler</i> Batu Kapur.....	99
4.8.2	Pengujian <i>Marshall Filler</i> Kerak Tungku Pembakaran Genteng.....	100
4.8.3	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA.....	106
4.8.4	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM.....	109
4.8.5	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFB.....	111
4.8.6	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas.....	114
4.8.7	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Flow</i>	117
4.8.8	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Marshall Quotient</i>	119
4.8.9	² Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i>	122
4.9	Kadar Aspal Optimum (KAO).....	124
BAB V KESIMPULAN.....		129
5.1	Kesimpulan.....	129
5.2	Saran.....	130
DAFTAR PUSTAKA.....		131
BIODATA PENULIS.....		135
LAMPIRAN.....		L1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Kuat Tekan Berdasarkan Variasi Campuran Kerak Boiler	7
Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas.....	8
Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelahan	8
Gambar 2. 4 (a) Hasil Density Marshall, (b) Hasil VMA Marshall	9
Gambar 2. 5 (a) Hasil VIM Marshall, (b) Hasil VFA Marshall	10
Gambar 2. 6 (a) Hasil Stability Marshall, (b) Hasil Flow Marshall,	10
Gambar 2. 7 (a) Hasil VMA Marshall, (b) Hasil VFB Marshall,.....	11
Gambar 2. 8 (a) Hasil Stabilitas Marshall, (b) Hasil Flow Marshall,.....	11
Gambar 2. 9 (a) Hasil Stabilitas Marshall, (b) Hasil KAO Marshall	12
Gambar 2. 10 (a) Hasil Stabilitas Marshall, (b) Hasil Flow Marshall,.....	14
Gambar 2. 11 (a) Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai Flow,	15
Gambar 2. 12 Pengaruh Variasi Filler ACT-PC Terhadap Nilai Stabilitas.....	15
Gambar 2. 13 Perbandingan Kuat Tekan Kubus dan Paving Block.....	16
Gambar 2. 14 (a) Pengaruh Variasi Limbah Terhadap Flow, (b) Pengaruh Variasi Limbah Terhadap Stabilitas, (c) Pengaruh Variasi Limbah Terhadap KAO	17
Gambar 2. 15 Fungsi Aspal Pada Setiap Butir agregat	20
Gambar 2. 16 Sketsa Perbedaan Fungsi Aspal Pada Lapisan Perkerasan	20
Gambar 2. 17 Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur	24
Gambar 2. 18 Rancangan Pencampuran Agregat.....	41
Gambar 2. 19 Skematis Berbagai Jenis Rongga Beton Aspal Padat	44
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	51
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengujian Material	52
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengujian Aspal	53
Gambar 4. 1 Hasil Kelekatan Agregat Kasar	84
Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Gabungan AC-WC dengan Filler Batu Kapur.....	95
Gambar 4. 3 Grafik Gradasi Gabungan AC-WC dengan Filler Kerak Tungku	96
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-VMA	106
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-VMA.....	107
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-VMA.....	107
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-VMA.....	108
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-VMA.....	108
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-VMA	109
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-VIM	109
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-VIM	110
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-VIM	110
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-VIM	111

Gambar 4. 14 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-VFB.....	112
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-VFB	112
Gambar 4. 16 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-VFB	113
Gambar 4. 17 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-VFB	113
Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-VFB	114
Gambar 4. 19 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-Stabilitas.....	114
Gambar 4. 20 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-Stabilitas	115
Gambar 4. 21 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-Stabilitas	115
Gambar 4. 22 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-Stabilitas	116
Gambar 4. 23 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-Stabilitas	116
Gambar 4. 24 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-Flow	117
Gambar 4. 25 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-Flow.....	117
Gambar 4. 26 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-Flow.....	118
Gambar 4. 27 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-Flow.....	118
Gambar 4. 28 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-Flow.....	119
Gambar 4. 29 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-MQ	119
Gambar 4. 30 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-MQ	120
Gambar 4. 31 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-MQ	120
Gambar 4. 32 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-MQ	121
Gambar 4. 33 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-MQ	121
Gambar 4. 34 Grafik Kadar Aspal Optimum Filler Batu Kapur.....	124
Gambar 4. 35 Grafik Kadar Aspal Optimum Substitusi Filler Kerak 25%.....	125
Gambar 4. 36 Grafik Kadar Aspal Optimum Substitusi Filler Kerak 50%.....	125
Gambar 4. 37 Grafik Kadar Aspal Optimum Substitusi Filler Kerak 75%.....	126
Gambar 4. 38 Grafik Kadar Aspal Optimum Filler Kerak Tungku 100%.....	126

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Gradasi Lapis Pondasi Agregat.....	22
Tabel 2. 2 Ketentuan Sifat Lapis Pondasi Agregat Semen.....	23
Tabel 2. 3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston	25
Tabel 2. 4 Ketentuan Agregat Kasar	28
Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Halus	29
Tabel 2. 6 Ketentuan Aspal Modifikasi	32
Tabel 2. 7 Hasil Uji Senyawa Kerak Tungku Pembakaran Genteng	34
Tabel 2. 8 Komposisi Kimia Batu Kapur.....	35
Tabel 2. 9 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal	36
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Pengujian Analisa Saringan.....	57
Tabel 3. 2 Alat dan Bahan Berat Jenis Agregat Halus	58
Tabel 3. 3 Alat dan Bahan Berat Jenis Agregat Kasar	59
Tabel 3. 4 Alat dan Bahan Pengujian Keausan Agregat	60
Tabel 3. 5 Alat dan Bahan Pengujian Kelekatan Agregat	61
Tabel 3. 6 Alat dan Bahan Pengujian Penetrasi Aspal	62
Tabel 3. 7 Alat dan Bahan Berat Jenis Aspal Keras.....	63
Tabel 3. 8 Alat dan Bahan Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar	64
Tabel 3. 9 Alat dan Bahan Pengujian Titik Lembek Aspal.....	64
Tabel 3. 10 Massa minimum contoh uji agregat kasar	66
Tabel 3. 11 Daftar Gradasi dan Massa Benda Uji	67
Tabel 4. 1 Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar Fraksi 5-10 mm	79
Tabel 4. 2 Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar Fraksi 10-15 mm	80
Tabel 4. 3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Fraksi 5-10	81
Tabel 4. 4 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Fraksi 10-15	81
Tabel 4. 5 Tabel Gradasi dan Berat Benda Uji untuk Keausan.....	82
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Keausan Agregat 5-10	82
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Keausan Agregat 10-15	83
Tabel 4. 8 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus Fraksi 0-5 mm	85
Tabel 4. 9 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	86
Tabel 4. 10 Sand Equivalent Agregat Halus	86
Tabel 4. 11 Hasil Analisa Saringan Filler Batu Kapur	87
Tabel 4. 12 Hasil Analisa Saringan Filler Kerak tungku Pembakaran	88
Tabel 4. 13 Berat Jenis Filler Batu Kapur.....	88
Tabel 4. 14 Berat Jenis Filler Kerak Tungku Pembakaran	89
Tabel 4. 15 Berat Jenis Aspal PG70.....	90
Tabel 4. 16 Penetrasi PG70	91

Tabel 4. 17 Titik Nyala Aspal PG70.....	91
Tabel 4. 18 Titik Lembek Aspal PG70	92
Tabel 4. 19 Daktilitas Aspal PG70.....	93
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Rekapitulasi Pengujian	93
Tabel 4. 21 Campuran Agregat dengan Filler Batu Kapur.....	94
Tabel 4. 22 Campuran Agregat dengan Filler Kerak Tungku.....	95
Tabel 4. 23 Rencana Jumlah Pembuatan Briket Setiap Variasi	97
Tabel 4. 24 Komposisi Pb Filler Batu Kapur	97
Tabel 4. 25 Komposisi Pb Substitusi Filler Kerak Tungku 25%	97
Tabel 4. 26 Komposisi Pb Substitusi Filler Kerak Tungku 50%	98
Tabel 4. 27 Komposisi Pb Substitusi Filler Kerak Tungku 75%	98
Tabel 4. 28 Komposisi Pb Substitusi Filler Kerak Tungku 100%	98
Tabel 4. 29 Pengujian Marshall Substitusi Filler Batu Kapur.....	99
Tabel 4. 30 Pengujian Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 25%.....	100
Tabel 4. 31 Pengujian Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 50%.....	101
Tabel 4. 32 Pengujian Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 75%.....	103
Tabel 4. 33 Pengujian Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 100%.....	104
Tabel 4. 34 Rekapitulasi Marshall Filler Batu Kapur	122
Tabel 4. 35 Rekapitulasi Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 25%.....	122
Tabel 4. 36 Rekapitulasi Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 50%.....	123
Tabel 4. 37 Rekapitulasi Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 75%.....	123
Tabel 4. 38 Rekapitulasi Marshall Filler Kerak Tungku 100%	124
Tabel 4. 39 Rekapitulasi Perbandingan KAO Filler Batu Kapur dan Kerak Tungku	127

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel L.1 : Formulir Pengujian Analisa Saringan <i>Filler</i> Batu Kapur	L1
Tabel L.2 : Formulir Pengujian Analisa Saringan <i>Filler</i> Kerak Tungku Pembakaran Genteng	L2
Tabel L.3 : Formulir Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar 10-15	L3
Tabel L.4 : Formulir Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar 5-10	L4
Tabel L.5 : Formulir Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus 0-5	L5
Tabel L.6 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agg Kasar 10-15	L6
Tabel L.7 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agg Kasar 5-10	L6
Tabel L.8 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agg Halus 0-5	L7
Tabel L.9 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan <i>Filler</i> Batu Kapur	L7
Tabel L.10 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan <i>Filler</i> Kerak Tungku	L8
Tabel L.11 : Formulir Pengujian Keausan Agregat 10-15	L8
Tabel L.12 : Formulir Pengujian Keausan Agregat 5-10	L9
Tabel L.13 : Formulir Pengujian <i>Sand Equivalent</i>	L9
Tabel L.14 : Formulir Pengujian Penetrasi Aspal.....	L10
Tabel L.15 : Formulir Pengujian Titik Lembek Aspal.....	L10
Tabel L.16 : Formulir Pengujian Berat Jenis Aspal PG70.....	L11
Tabel L.17 : Formulir Pengujian Titik Lembek Aspal.....	L12
Tabel L.18 : Formulir Pengujian Daktilitas	L13
Tabel L.19 : Formulir Pengujian Titik Nyala.....	L14
Tabel L.20 : Rekapitulasi Hasil Pengujian.....	L15
Tabel L.21 : Hasil Pengujian <i>Marshall Filler</i> Batu Kapur	L16
Tabel L.22 : Hasil Pengujian <i>Marshall Filler</i> Kerak Tungku 25%.....	L17
Tabel L.23 : Hasil Pengujian <i>Marshall Filler</i> Kerak Tungku 50%.....	L18
Tabel L.24 : Hasil Pengujian <i>Marshall Filler</i> Kerak Tungku 75%.....	L19
Tabel L.25 : Hasil Pengujian <i>Marshall Filler</i> Kerak Tungku 100%.....	L20
Tabel L.26 : Dokumentasi Pengujian.....	L21
Gambar L.1 : Lembar Persetujuan Tugas Akhir	L28
Gambar L.2 : Lembar Bimbingan Tugas Akhir.....	L29
Gambar L.3 : Lembar Revisi Sidang Tugas Akhir.....	L31
Gambar L.4 : Syarat Rekomendasi Cetak Buku Tugas Akhir	L34
Gambar L.5 : Hasil Cek Plagiasi.....	LError! Bookmark not defined.

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR NOTASI

B	=	Massa piknometer + air (gram)
B _k	=	Massa kering oven agregat (gram)
B _j	=	Massa kering permukaan jenuh/SSD (gram)
B _t	=	Massa Piknometer + agregat + air (gram)
B _a	=	Massa di dalam air (gram)
a	=	Massa benda uji semula (gram)
b	=	Massa benda uji tertahan saringan N0. 12 (gram)
G _{mb}	=	Berat jenis <i>bulk</i> dari beton aspal padat
B _k	=	Berat kering beton aspal (gram)
B _{ssd}	=	Berat kering permukaan jenuh aspal yang telah dipadatkan (gram)
B _a	=	Berat beton aspal di dalam air (gram)
G _{mm}	=	Berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan
Pa	=	Kadar aspal terhadap berat beton aspal (%)
Ps	=	Kadar agregat terhadap berat beton aspal (%)
G _{se}	=	Berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal
G _a	=	Berat jenis aspal
VMA	=	Volume rongga agregat di dalam beton aspal padat, dari volume <i>bulk</i> beton aspal (%)
G _{sb}	=	Berat jenis <i>bulk</i> dari pembentukan beton aspal
VIM	=	Rongga di dalam campuran setelah pepadatan, total campuran (%)
VFA	=	Volume rongga antara butir agregat yang terisi aspal (%)
P _{ab}	=	Kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat (%)
P _{ae}	=	Kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat terhadap
		massa beton aspal (%)
Pb	=	Kadar aspal tengah/ ideal, terhadap berat campuran (%)
CA	=	Agregat kasar tertahan saringan No. 8 (%)
FA	=	Agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200 (%)
K	=	Konstanta
MQ	=	Marshall Quotient (kg/mm)
MS	=	Marshall Stabilitas (kg/mm)
MF	=	Flow Marshall (mm)

(Halaman Sengaja Dikосongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era modern yang ditandai dengan perkembangan industri yang pesat dan globalisasi ekonomi, pengelolaan limbah dari sektor industri menjadi salah satu isu yang sangat penting untuk ditangani secara serius. Penanganan limbah industri genteng belum sepenuhnya dikelola secara optimal meskipun volume produksinya cukup besar setiap hari (Salam, 2018). Salah satu limbah utama dari industri genteng adalah kerak tungku pembakaran. Limbah ini biasanya mengandung material anorganik dengan peluang besar untuk di daur ulang, namun sering kali hanya dibuang begitu saja tanpa pengelolaan yang memadai. Penanganan limbah industri yang kurang optimal tidak hanya mencemari lingkungan, tetapi juga menjadi masalah yang memerlukan solusi inovatif untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (Emilia, 2023). Salah satu pendekatan yang dapat diambil adalah pemanfaatan limbah ini sebagai bahan pengganti (*filler*) dalam konstruksi perkerasan jalan.

Di Indonesia, lapisan perkerasan jalan sering kali ⁵ menggunakan campuran aspal panas, baik untuk pelapisan ulang, perawatan, maupun pembangunan jalan baru. Campuran tersebut terdiri dari aspal dan berbagai jenis agregat agregat, seperti kerikil, pasir, dan batuan, yang membentuk struktur lapisan aspal yang terdiri atas tiga bagian utama: Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC), Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC), dan Asphalt Concrete-Base (AC-Base). Campuran aspal beton lapis aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC*) merupakan lapisan bagian terluar, berfungsi menahan beban kendaraan, melindungi dari erosi, serta menjaga kestabilan permukaan jalan terhadap pelunakan (Anggraini dkk., 2020).

Lapisan AC-WC dipilih dalam penelitian ini karena merupakan bagian paling atas dari perkerasan jalan yang dimana lapisan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja dan menyebarkannya ke lapisan bawahnya berupa muatan kendaraan, gaya rem, dan roda kendaraan (Kafabihi dkk., 2020). Karena faktor ini, lapisan AC-WC memiliki risiko tinggi terhadap berbagai jenis kerusakan, seperti retak, deformasi, serta pelepasan butiran agregat akibat beban kendaraan yang berulang. Oleh karena itu, penggunaan *filler* yang tepat sangat berperan dalam meningkatkan kinerja campuran aspal beton AC-WC (Susanto, 2020).

Kekuatan dan stabilitas perkerasan jalan sangat bergantung pada kualitas material yang digunakan, termasuk *filler* dalam campuran aspal. Berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2) *filler* merupakan bahan pengisi yang bebas dari gumpalan dan terdiri atas partikel halus dengan ukuran lolos ayakan 16 dan yang lolos ayakan 0,075mm (No. 200), masing-masing tidak kurang dari 100% dan 75% terhadap beratnya. Menurut Putrowijoyo, keberadaan *filler* memiliki peran krusial dalam campuran aspal karena secara signifikan memengaruhi karakteristik *Marshall*, terutama dalam mendukung kekuatan struktur perkerasan jalan dalam menahan beban lalu lintas (Ubaidillah & Sholichin, 2023).

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa limbah industri dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi. Sebagai contoh, penelitian mengenai pemanfaatan limbah abu terbang, limbah kaca, dan limbah beton daur ulang sebagai *filler* telah membuktikan potensi peningkatan kualitas perkerasan jalan. Namun, penelitian terkait pemanfaatan limbah kerak tungku pembakaran genteng masih sangat terbatas, sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengevaluasi kelayakan material ini. Studi oleh (Irwansyah dkk., 2024) menunjukkan bahwa penambahan abu kerak boiler dapat meningkatkan nilai kuat tekan paving block dan dapat mengurangi jumlah pemakaian agregat halus, dengan hasil penambahan abu kerak boiler sebagai pengurangan agregat halus terhadap kuat tekan paving block untuk proporsi 10 %, 30% dan 50% penggunaan abu kerak boiler masing- masing menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 8,15 Mpa, 9,57 Mpa, dan 12.78 Mpa sesuai hasil nilai faktor konversi. Selain itu, (Refiyanni & ikhsan, 2020) benda uji dengan 3 variasi yaitu : variasi 1 (75% cangkang kemiri, 25% terak tanur), variasi 2 (50% cangkang kemiri, 50% terak tanur) dan variasi 3 (25% cangkang kemiri, 75% terak tanur) kecuali nilai Voids in Mineral Agregat (VMA) untuk variasi 1 dan 2 yang tidak memenuhi persyaratan. Tetapi secara garis besar kombinasi cangkang kemiri dan terak tanur sebagai pengganti agregat halus dapat digunakan sebagai lapis perkerasan AC-WC.

Lapisan AC-WC, yang merupakan lapisan terluar perkerasan jalan, meskipun telah dirancang untuk memiliki kekuatan tinggi, tetapi tetap rentan terhadap kerusakan akibat suhu tinggi dan beban lalu lintas berat. Kerusakan ini dapat berupa pelepasan butiran agregat dan retakan pada permukaan jalan. Salah satu langkah untuk mengurangi kerusakan tersebut adalah dengan meningkatkan performa perkerasan menggunakan aspal modifikasi, yang bertujuan menghasilkan campuran dengan stabilitas yang lebih baik pada suhu tinggi (Ferbiansyah dkk., 2023). Salah satu jenis aspal modifikasi yang

diharapkan dapat meningkatkan kinerja perkerasan jalan adalah aspal PG 70, yang ditambahkan pada aspal alami. Dengan penggunaan aspal modifikasi ini, diharapkan akan memperoleh peningkatan signifikan dalam ketahanan terhadap deformasi, pengurangan keretakan, serta ketahanan terhadap keausan akibat umur rencana. Sehingga, kinerja jalan akan menjadi lebih tahan lama dan biaya perawatan dapat diminimalkan.

Tepatnya di Desa Kencong, Kecamatan Kepung, Kabupaten Kediri, Jawa Timur, limbah kerak tungku pembakaran genteng yang dihasilkan oleh pengrajin desa tersebut tergolong menumpuk dan menebal pada mulut/dinding tungku pembakaran. Limbah ini biasanya hanya dibuang serta kurang dimanfaatkan secara maksimal. Oleh karena itu, perlu adanya pengolahan yang inovatif dalam memanfaatkan limbah kerak tersebut menjadi bahan pengisi (*filler*). Ukuran limbah kerak ini berkisar 0.2-0.4cm dan cenderung menggumpal antara satu dengan yang lainnya. Sebelum digunakan sebagai *filler*, limbah kerak tersebut dihaluskan terlebih dahulu menjadi serbuk. Selain itu, dalam penelitian ini juga mempertimbangkan penggunaan aspal PG 70, yang memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan sangat cocok digunakan pada campuran aspal beton sebagai bagian dari campuran AC-WC. Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai perbandingan penggunaan limbah kerak tungku pembakaran genteng dan batu kapur sebagai substitusi *filler* dalam campuran lapis aspal beton pada *Asphalt Concrete- Wearing Course* (AC-WC).

14
1.2

Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang yang telah disampaikan sebelumnya, peneliti merumuskan masalah penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik limbah kerak tungku pembakaran genteng sebagai pengganti *filler* pada campuran AC-WC ?
2. Bagaimana perbandingan stabilitas pada campuran perkerasan aspal beton dengan substitusi limbah kerak tungku pembakaran genteng dan batu kapur berdasarkan analisis parameter *Marshall* ?
3. Bagaimana perbandingan nilai kadar aspal optimum pada campuran perkerasan aspal beton dengan menggunakan *filler* kerak tungku pembakaran genteng dan menggunakan *filler* batu kapur?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan mempertimbangkan beberapa rumusan masalah di atas, tujuan Penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

1. Menganalisis karakteristik limbah kerak tungku pembakaran genteng sebagai pengganti *filler* pada campuran AC-WC.
2. Menganalisis perbandingan stabilitas pada campuran perkerasan aspal beton dengan substitusi limbah kerak tungku pembakaran genteng dan batu kapur berdasarkan analisis parameter *Marshall*.
3. Menganalisis perbandingan nilai kadar aspal optimum pada campuran perkerasan aspal beton dengan menggunakan *filler* kerak tungku pembakaran genteng dan menggunakan *filler* batu kapur.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini mencakup berbagai aspek dan permasalahan yang cukup luas, namun akan dibatasi pada beberapa aspek berikut :

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jalan Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur-Bali, Kec. Waru, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur.
2. Menggunakan kerak tungku pembakaran dari pengrajin genteng yang berada di DS. Kencong, Kec. Kepung, Kab. Kediri, Jawa Timur.
3. Penelitian ini tidak mempertimbangkan jenis kayu yang digunakan dalam proses pembakaran genteng, melainkan hanya berfokus pada kerak yang terbentuk di tungku pembakaran.
4. Agregat yang digunakan diperoleh dari PT Multi Bangun Indonesia, Porong, Sidoarjo, Jawa Timur.
5. Aspal yang akan digunakan adalah Aspal Modifikasi PG 70 dari PT. Aspindo Mutual.
6. Kandungan kimia kerak tungku pembakaran genteng dan batu kapur tidak diperhitungkan.
7. Acuan standarisasi berdasarkan pada Direktorat Jendral Bina Marga, dengan syarat Spesifikasi **Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan jembatan (Revisi 2) Nomor 16.1/SE/Db/2020**.
8. Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah bahan yang lolos saringan no. 200 (0,075mm) yaitu menggunakan limbah kerak tungku pembakaran dan batu kapur.
9. Tidak memperhitungkan biaya untuk pemanfaatan limbah kerak tungku pembakaran sebagai bahan substitusi *filler* pada campuran Laston AC-WC.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini dalam laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

1.5.1 Manfaat Untuk Penulis

1. Sebagai penulis dapat mengembangkan serta melakukan penerapan tentang campuran aspal beton dengan campuran filler Kerak Tungku Pembakaran Genteng.
2. Menambah pemahaman wawasan dan pengetahuan ilmiah.

1.5.2 Manfaat Untuk Instansi

1. Menyediakan referensi ilmiah yang relevan terkait penggunaan limbah kerak tungku pembakaran genteng dan semen *potrland* sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal beton.
2. Membantu mencetak lulusan yang kompeten dan memiliki integritas di bidang Teknik Sipil..
3. Berkontribusi dalam penyempurnaan kurikulum akhir mahasiswa sebagai bagian dari persyaratan penyelesaian studi.

1.5.3 Manfaat Untuk Penelitian Selanjutnya

1. Diharapkan untuk hasil penelitian ini sebagai referensi serta pemahaman nilai kadar aspal optimum agar bisa melanjutkan penelitian ini lebih mendetail.
2. Menyediakan sumber baru yang berupa jurnal atau literatur yang membahas metode perbandingan atau analisis pemilihan bahan *filler* dalam campuran aspal beton.

¹
(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

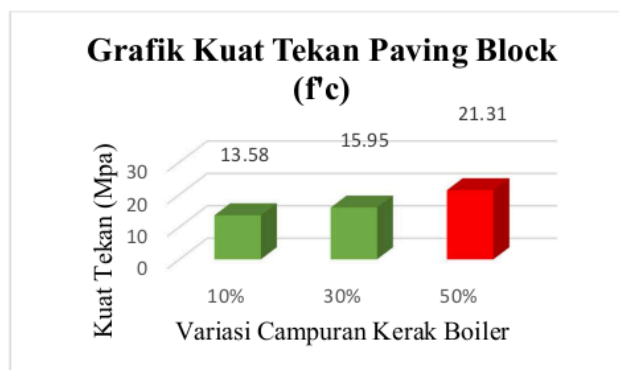
2.1 Penelitian Terdahulu

Kajian terhadap referensi penelitian sebelumnya merupakan peninjauan berbagai penelitian ilmiah yang dijadikan sebagai referensi oleh penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Peninjauan ini bertujuan memberikan tambahan teori yang relevan bagi penulis dalam mengkaji penelitian yang sedang dilakukan. Selain itu, kajian ini juga dimaksudkan untuk memberikan wawasan tambahan kepada pembaca sebagai acuan dalam memahami topik yang dibahas.

Berikut adalah beberapa jurnal yang berkaitan dengan yang peneliti lakukan :

1. Analisa Mortar Dengan Substitusi Agregat Abu Kerak Boiler Terhadap Kuat Tekan Pada Paving Block (Irwansyah dkk., 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penggantian pasir mempengaruhi mutu kuat tekan mortar yang akan dicampur dengan abu kerak boiler. Persentase substitusi abu kerak boiler yang digunakan adalah 10%, 30%, dan 50%. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah benda uji berbentuk paving block segi enam standar dengan ukuran 16 cm x 16 cm x 8 cm. Penelitian ini menggunakan benda uji sebanyak 9 buah, dengan 3 buah di setiap variasinya. Pengujian kuat tekan paving block akan dilakukan pada umur 28 hari.



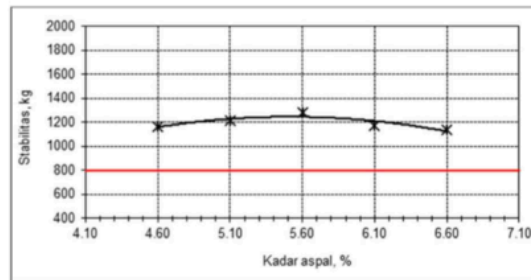
Gambar 2. 1 Grafik Kuat Tekan Berdasarkan Variasi Campuran Kerak Boiler

(Sumber : Irwansyah dkk., 2024)

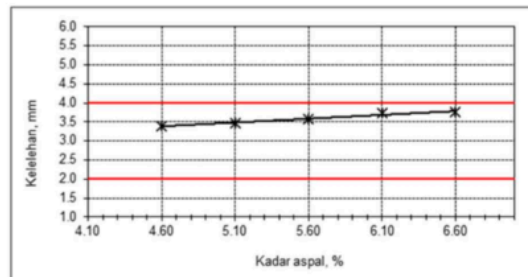
- Penambahan abu kerak boiler sebagai pengurangan agregat halus terhadap kuat tekan *paving block* untuk proporsi 10 % penggunaan abu kerak boiler menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 8,15 Mpa, pada penggunaan proporsi 30 % abu kerak boiler menghasilkan kuat tekan 9,57 Mpa sedangkan pada proporsi 50 % menghasilkan kuat tekan 12,78 Mpa sesuai hasil nilai faktor konversi.
- Penambahan proporsi abu kerak boiler dapat meningkatkan kuat tekan *paving block* yaitu sebesar 12,78 Mpa.

2. Pemanfaatan Limbah Produksi Bata Merah UD. Bata Pres MRH Sebagai Filler Pada Campuran AC-BC (Sudarsono dkk., 2024).

Penelitian ini membahas penggantian material filler dilakukan untuk mencari material yang dapat meningkatkan stabilitas perkerasan dengan menggunakan limbah produksi bata merah milik UD. Bata Pres MRH, Mojokerto, dengan variasi kadar aspal 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1% dan 6,6%. Penelitian ini mengacu pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.



Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas (Sumber : Sudarsono dkk., 2024)



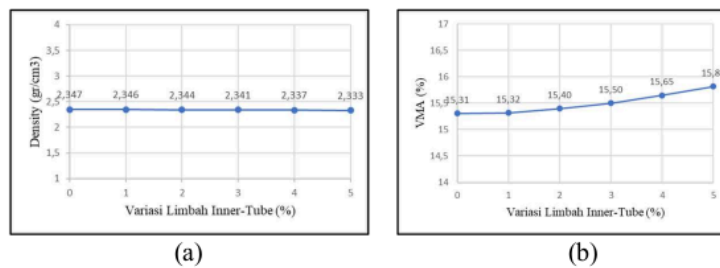
Gambar 2. 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelahan (Sumber : Sudarsono dkk., 2024)

- 7 Berdasarkan hasil pengujian Marshall pada campuran AC-BC dengan menggunakan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018 untuk kelelahan dengan kadar aspal 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1% dan 6,6% secara berurutan memiliki hasil 3,40 mm, 3,47 mm, 3,57 mm, 3,73 mm dan 3,77 mm dan untuk nilai stabilitas secara berurutan memiliki nilai 1164,3 kg, 1180,0 kg, 1287,2 kg, 1177,1 kg dan 1167,2 kg.

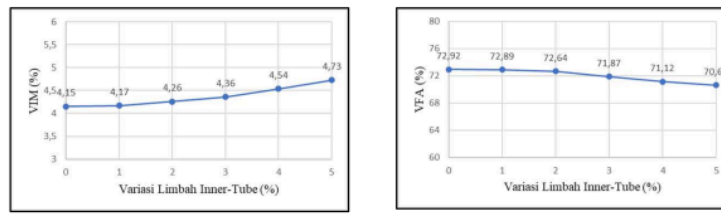
3. Pemanfaatan Penambahan Limbah *Inner-Tube Rubber* dan Penggunaan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi *Filler* pada Campuran AC-WC (Widari dkk., 2024).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan penambahan limbah *inner-tube rubber* dan penggunaan abu cangkang kemiri sebagai substitusi *filler* pada campuran ac-wc. Persentase substitusi limbah *inner-tube rubber* adalah 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dari berat aspal dan substitusi *filler* abu cangkang kemiri dengan kadar 25% terhadap berat *filler*. Pembuatan benda uji menggunakan campuran AC-WC dengan jumlah total 18 benda uji kemudian diuji menggunakan metode *Marshall*.

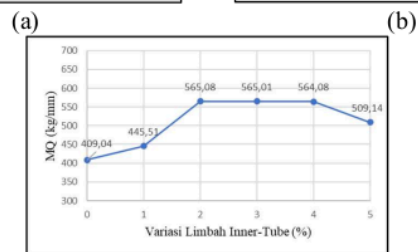
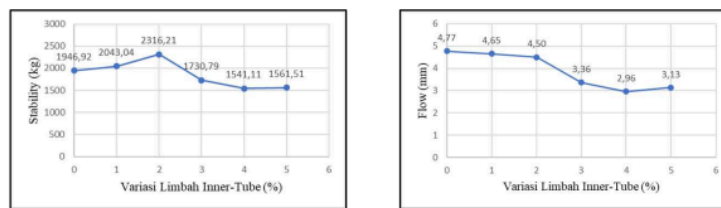
- Hasil dari penelitian ini menunjukkan penggunaan limbah *inner-tube rubber* dan abu cangkang kemiri sangat berpengaruh terhadap nilai parameter Marshall.
- Dengan Kadar Aspal Optimum 6%, diperoleh kadar variasi terbaik pada 3% bahan tambah *inner-tube rubber* dan 25% substitusi abu cangkang kemiri sebagai *filler* dengan nilai density 2,341 gr/cm³, VMA 15,50%, VIM 4,36%, VFA 71,87% , stability 1730,79 kg, flow 3,36 mm dan MQ 565,01 kg/mm yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.



Gambar 2. 4 (a) Hasil Density Marshall, (b) Hasil VMA Marshall
(Sumber : Widari dkk., 2024)



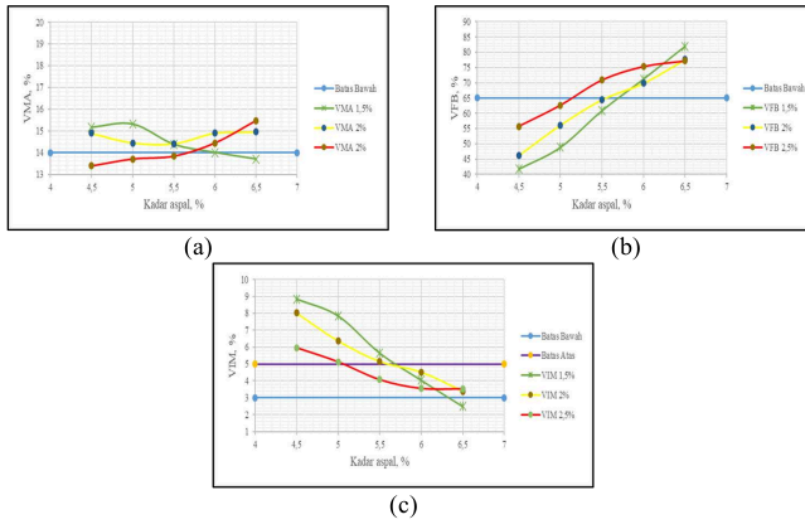
(a) (b)
Gambar 2. 5 (a) Hasil VIM Marshall, (b) Hasil VFA Marshall
(Sumber : Widari dkk., 2024)



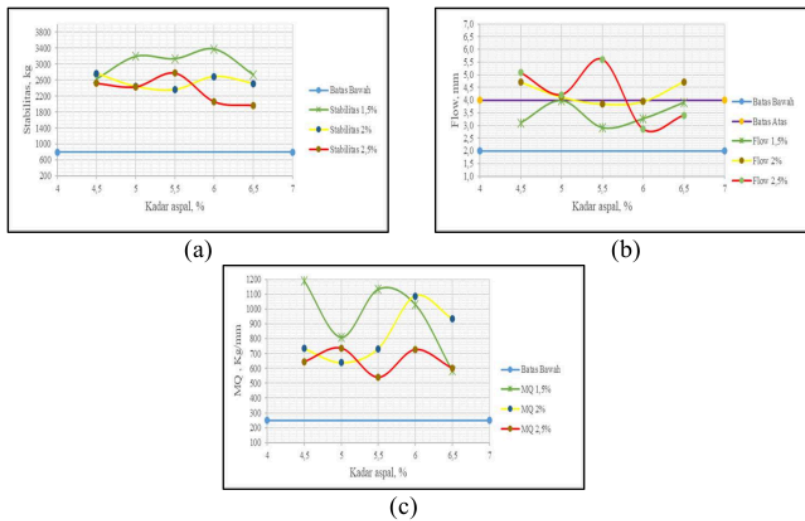
(a) (b) (c)
Gambar 2. 6 (a) Hasil Stability Marshall, (b) Hasil Flow Marshall,
(c) Hasil MQ Marshall
(Sumber : Widari dkk., 2024)

4. Karakteristik Penggunaan Limbah Serbuk Kaca Pada Campuran Aspal Laston (AC-BC) Terhadap Parameter Marshall (Syafi dkk., 2024)

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui hasil pengaruh limbah serbuk kaca terhadap parameter Marshall dalam lapisan Laston AC-BC. Kadar variasi filler yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1,5%, 2% dan 2,5%. Penelitian ini menggunakan benda uji sebanyak 75 buah, dengan 15 buah di setiap variasinya.



Gambar 2. 7 (a) Hasil VMA Marshall, (b) Hasil VFB Marshall, (c) Hasil VIM Marshall (Sumber :Syafi dkk., 2024)

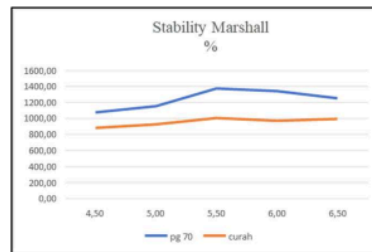


Gambar 2. 8 (a) Hasil Stabilitas Marshall, (b) Hasil Flow Marshall, (c) Hasil MQ Marshall (Sumber :Syafi dkk., 2024)

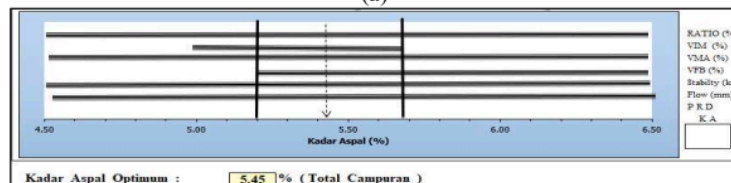
- Hasil yang diperoleh pada pengaruh penggunaan filler limbah serbuk kaca optimal paling efisien adalah kadar variasi filler 2,5% dengan kadar aspal rencana 6,0%.
- Dalam grafik di atas kadar aspal sebesar 6,0% dengan nilai VMA sebesar 14,44%, nilai VFB sebesar 75,4%, nilai VIM sebesar 3,56%, nilai Stabilitas sebesar 2056,24 kg, nilai flow sebesar 2,87%, dan nilai Marshall Quotient sebesar 727,39 kg.

5. Analisis Perbandingan Penggunaan Aspal Pen 60/70 Modif PG70 Dengan Aspal Curah Pada Campuran AC-WC (Rizaldi Absyah & Hartatik, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hasil Marshall dari perbandingan antara aspal curah dengan aspal modif PG70 yang baik untuk campuran AC-WC. Penelitian ini membuat 9 buah benda uji dengan 5 variasi kadar aspal yang sudah ditentukan mulai dari 4,5%; 5,0%; 5,5%.6,0% dan 6,5%, masing-masing kadar aspal dibuat 3 benda uji.



(a)



(b)

Gambar 2. 9 (a) Hasil Stabilitas Marshall, (b) Hasil KAO Marshall (Sumber : (Rizaldi Absyah & Hartatik, 2023).

- Hasil pengujian menunjukkan perbedaan signifikan pada nilai stabilitas Marshall antara aspal Pen 60-70 dan Aspal Modifikasi PG70. Aspal Modifikasi PG70 memiliki nilai stabilitas lebih tinggi,

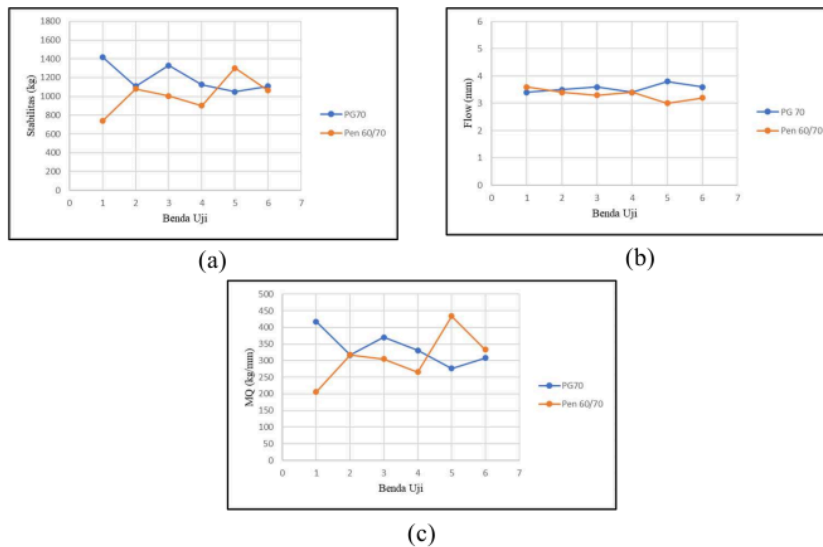
dengan hasil terbaik pada kadar 5,5% sebesar 1336,23 kg. Sementara itu, aspal curah memiliki nilai stabilitas lebih rendah, dengan hasil terbaik pada kadar 5,8% sebesar 1002,62 kg.

- Hasil penelitian menunjukkan kadar aspal optimum sebesar 5,45% yang diperoleh dari nilai tengah rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi seperti stabilitas, flow, VMA, VIM, VFB, dan MQ.

6. **Perbandingan Karakteristik Marshall Pada Aspal Modifikasi Polimer PG70 Dengan Aspal Minyak Pen 60-70** (Apteda dkk., 2023).

Penelitian ini membahas tentang pengujian marshall pada aspal modifikasi polimer PG70 yang digunakan untuk proyek preservasi jalan Sidoarjo - Malang dengan aspal minyak pen 60-70 sebagai perbandingan. Pengujian dilakukan pada campuran AC-BC dengan kadar aspal 5,5% dan jumlah sampel masing-masing jenis aspal sebanyak 6 buah.

- Berdasarkan penelitian menunjukkan bahwa beton aspal dengan menggunakan aspal modifikasi polimer PG70 memiliki nilai rata-rata stabilitas yang lebih tinggi yaitu 1190,595 kg, dibandingkan dengan aspal minyak pen 60/70 yang memiliki nilai stabilitas 1015,58 kg.
- Beton aspal dengan menggunakan aspal modifikasi polimer PG70 memiliki nilai rata-rata flow yang lebih tinggi yaitu 3,55 mm, dibandingkan dengan aspal minyak pen 60/70 dengan nilai flow 3,32 mm. Hal ini dikarenakan nilai stabilitas dan kekentalan aspal modifikasi polimer PG70 lebih tinggi, yang mengakibatkan ikatan antara aspal dengan agregat semakin kuat.
- Nilai rata-rata Marshall quotient pada beton aspal modifikasi polimer PG70 lebih tinggi yaitu 336,56 kg/mm, dibandingkan dengan aspal minyak pen 60/70 yang memiliki nilai 309,95 kg/mm.



Gambar 2. 10 (a) Hasil Stabilitas Marshall, (b) Hasil Flow Marshall, (c) hasil MQ Marshall
(Sumber : (Apteda dkk., 2023))

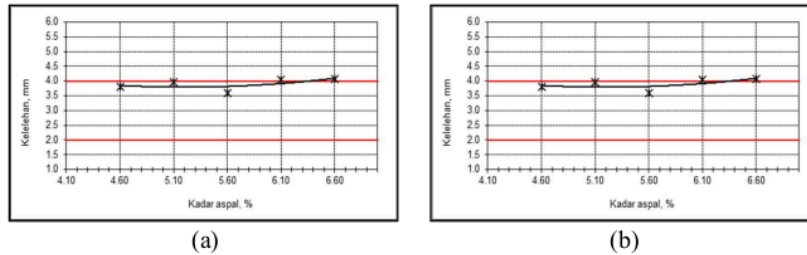
7. **Pemanfaatan Limbah Batu Kapur Bukit Sekapuk Gresik Sebagai Filler Campuran AC-BC** (Rahmawati dkk., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk pemanfaatan batu kapur sebagai filler sebagai bahan alternatif untuk mengatasi keterbatasan bahan konstruksi dengan variasi kadar aspal 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1% dan 6,6%. Penelitian ini mengacu pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

- Ditinjau dari nilai flow limbah batu kapur sebagai filler pada kadar aspal 4,5%, 5,1%, 5,6%, 6,1%, dan 6,6% dengan nilai masing-masing 3,80 mm, 3,97 mm, 3,60 mm, 4,03 mm, dan 4,07 mm. Nilai flow pada setiap kadar aspal dengan syarat minimal 2 mm dan maksimal 4 mm telah memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 (Revisi 2).
- Kemudian ditinjau dari nilai stabilitas limbah batu kapur sebagai filler pada kadar aspal 4,5%, 5,1%, 5,6%, 6,1%, dan 6,6% dengan nilai masing-masing 968,6 kg, 1144,6 kg, 1010,9 kg, 1027,6 kg dan 991,2

kg. Nilai stabilitas pada setiap kadar aspal dengan syarat minimal 800 kg telah memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 (Revisi 2).

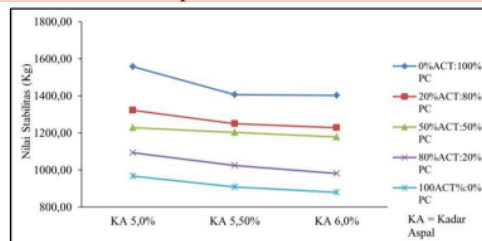
- Dari hasil pengujian dengan Filler batu kapur menggunakan metode Marshall didapatkan kadar aspal optimum pada Filler batu kapur dengan nilai 5,8 %.



Gambar 2. 11 (a) Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai Flow,
(b) Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai Stabilitas
(Sumber : Rahmawati dkk., 2023)

8. Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler (Abidin dkk., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Parameter Marshall terhadap penggunaan filler Abu Cangkang Tiram yang disubstitusikan ke dalam Portland Cement dengan komposisi 0% ACT: 100% PC, 20% ACT : 80% PC, 50% ACT : 50% PC, 80% ACT : 20% PC, dan 100% ACT :0% PC terhadap campuran AC-WC. Jumlah benda uji yang direncanakan dalam penelitian ini adalah 66 benda uji.



Gambar 2. 12 Pengaruh Variasi Filler ACT-PC Terhadap Nilai Stabilitas
(Sumber : Abidin dkk., 2021))

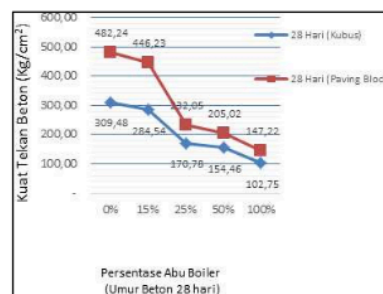
- Hasil evaluasi terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC-WC hasil komposisi terbaik pada persentase 20% (ACT) dan 80% (PC) pada kadar aspal 5,00%, nilai stabilitas yaitu 1323,01 kg, telah

memenuhi spesifikasi dan dapat digunakan sebagai agregat pada bahan campuran Laston AC-WC.

9. Analisa Penggunaan Paving Block Sebagai Pengganti Aspal Beton Pada Lapisan Permukaan Jalan Dengan Menggunakan Abu Kerak Boiler (Irwansyah & Sihombing, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggantian pasir dengan Abu Boiler terhadap kuat tekan beton. Variasi penggantian pasir adalah 0%, 15%, 25%, 50%, dan 100%, dengan faktor air-semen tetap 0,34. Pengujian dilakukan pada benda uji paving block (8 cm) dan kubus (15x15x15 cm) dengan target mutu beton 25 MPa. Total sampel berjumlah 30, terdiri dari 15 paving block dan 15 kubus, masing-masing variasi memiliki 3 sampel. Pengujian kuat tekan dilakukan pada usia 14 dan 28 hari.

- Dari hasil penelitian menunjukkan persentase berat optimum substitusi abu kerak boiler dalam campuran beton, berada di 15 % sebesar 284,87 Kg/cm² (Benda Uji Kubus) yaitu masuk dalam kuat tekan rencana beton 20 Mpa.



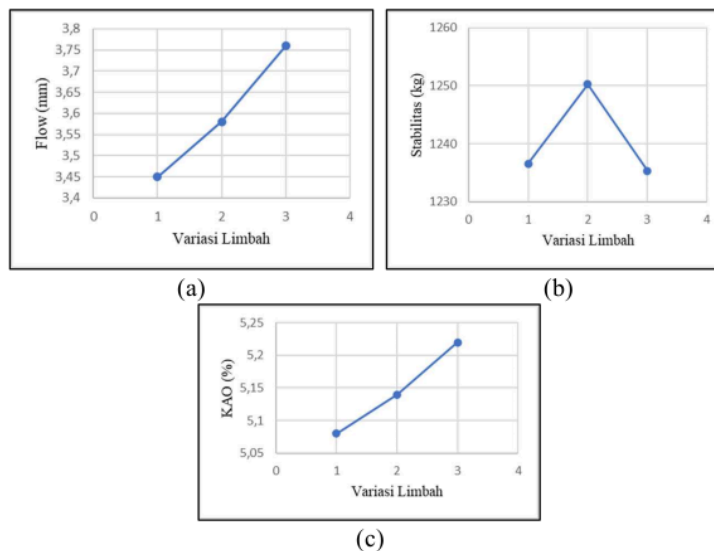
Gambar 2. 13 Perbandingan Kuat Tekan Kubus dan Paving Block (Sumber : Irwansyah & Sihombing, 2020)

10. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur Sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran AC-WC (Refiyanni & Ikhsan, 2020).

Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan limbah cangkang kemiri dan terak tanur sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal AC - WC. Penelitian ini dilakukan dengan 3 variasi yaitu: variasi 1 (75% cangkang kemiri, 25% terak tanur), Variasi 2 (50% cangkang

kemiri, 50% terak tanur) dan variasi 3 (25% cangkang kemiri, 75% terak tanur). Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan spesifikasi Umum Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010.

- Masing-masing KAO sebesar 5.08%, 5.14% dan 5.22%.
- Nilai stabilitas untuk variasi 1,2 dan 3 sebesar 1263.56 Kg, 1250.25Kg dan 1235.35 Kg hal ini menunjukkan bahwa nilai tersebut memenuhi persyaratan.
- Sementara itu nilai flow untuk ketiga variasi juga memenuhi persyaratan yang diizinkan untuk perkerasan campuran lapisan AC-WC sebesar 3.45, 3.58, dan 3.76.



Gambar 2. 14 (a) Pengaruh Variasi Limbah Terhadap Flow, (b) Pengaruh Variasi Limbah Terhadap Stabilitas, (c) Pengaruh Variasi Limbah Terhadap KAO

(Sumber : (Refiyanni & ikhsan, 2020)

2.2 Perkerasan Lentur (Aspal)

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah jenis perkerasan yang memanfaatkan aspal sebagai bahan pengikat utamanya (Sembung dkk., 2020). Aspal sendiri merupakan bahan perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat gelap, dengan komponen utama berupa bitumen. Material ini bisa diperoleh secara alami atau sebagai hasil residu dari proses pengilangan

minyak bumi (Cahyadi dkk., 2023). Aspal juga memiliki sifat termoplastis dan pada suhu ruang berbentuk padat hingga semi-padat. Jadi, ketika dipanaskan pada suhu tertentu, aspal akan mencair dan akan kembali mengeras saat suhunya menurun (Dewi dkk., 2021).

Menurut asal diperolehnya, aspal dapat dibedakan menjadi dua jenis (Setiowati & Putra, 2023) yaitu :

1. Aspal alam merupakan aspal yang diperoleh langsung dari alam, dan bisa digunakan tanpa pengolahan atau hanya dengan sedikit proses pengolahan.
2. Aspal minyak merupakan aspal yang berasal dari sisa hasil destilasi minyak bumi.

Menurut (Asnawi, 2020) aspal minyak dapat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan bentuk fisiknya, yaitu :

1. **Aspal Keras/Panas (*Asphaltic Cement, AC*)** yaitu aspal yang digunakan dalam kondisi cair dan panas, serta disimpan dalam bentuk padat pada suhu ruang sekitar 25°C - 30°C. **AC (*Asphaltic Cement*)** dengan penetrasi rendah digunakan di daerah beriklim panas atau dengan volume lalu lintas tinggi, sedangkan AC (*Asphaltic Cement*) dengan penetrasi tinggi digunakan di daerah dingin atau dengan volume lalu lintas rendah. Di Indonesia, umumnya digunakan semen aspal (AC) dengan penetrasi 60/70 dan 80/70.
2. **Aspal Dingin/Cair (*Cut back Asphalt*)** adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair pada suhu ruang yang dibuat dengan mencampurkan aspal keras/panas (AC) dengan bahan pelarut hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin atau solar. Berdasarkan jenis pelarutnya, aspal cair ini terbagi menjadi :
 - a. **RC (*Rapid Curing Cut Back*)**
Tipe *Asphalt cutback* dengan perawatan cepat, yang dibuat dengan melarutkan aspal dasar menggunakan naptha atau semacam bensin (*gasoline*). Aspal *Rapid Curing* memiliki aspal dasar keras yang pelarutnya mudah menguap pada suhu rendah.
 - b. **MC (*Medium Curing Cut Back*)**
Tipe *Asphalt cutback* dengan perawatan sedang, yang menggunakan pelarut seperti minyak tanah (*kerosene*) untuk melarutkan aspal dasar. Aspal *Medium Curing* memiliki aspal dasar yang lebih lunak dan kurang mudah menguap, dengan waktu perawatan yang lebih rendah.

c. SC (*Slow Curing Cut back*)

Tipe *Asphalt cutback* dengan perawatan lambat, yang dibuat dengan pelarut seperti minyak bahan bakar berat (*Heavy Fuel Oil*) untuk mencairkan aspal dasar.

3. Aspal Emulsi (*Emulsion Asphalt*) merupakan aspal yang lebih cair dari aspal cair biasa, yaitu campuran antara aspal, air dan bahan pengemulsi. Aspal ini dapat menembus pori-pori halus pada batuan yang tidak dapat dilalui oleh aspal cair biasa karena sifat pelarut dalam emulsi lebih memiliki daya tarik terhadap batuan.
4. Aspal Modifikasi, yang sering disebut sebagai *Polymer Modified Asphalt* (PMA) atau Polymer Bitumen (PMB), adalah jenis aspal yang diperkaya dengan bahan tambahan (*additive*) guna meningkatkan performanya. Jenis aspal ini memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban dan lebih tahan lama.

Penelitian yang sedang dilakukan saat ini akan menggunakan jenis aspal Polymer Modified Asphalt (PMA) atau aspal modifikasi. Pemilihan PMA dalam penelitian ini didasarkan pada keunggulannya dibandingkan aspal konvensional, terutama dalam hal elastisitas, ketahanan terhadap deformasi, serta daya tahan terhadap suhu ekstrem.

2.3 Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan

Berdasarkan pengertiannya aspal memiliki sifat adhesi dan kohesi, yang menjadikannya material yang ideal untuk perkerasan jalan dengan fungsi sebagai bahan pengikat dan pengisi (Sukirman, 2016). Dalam konstruksi perkerasan jalan, aspal memiliki peran sebagai berikut :

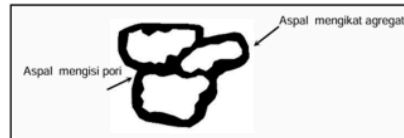
1. Sebagai bahan pengikat, aspal menciptakan ikatan yang kuat antara agregat satu sama lain dan dengan aspal itu sendiri.
2. Sebagai bahan pengisi, aspal mengisi ruang di antara butir-butir agregat serta pori-pori yang terdapat pada agregat itu sendiri.

Proses pembentukan aspal dalam perkerasan jalan dapat dilakukan dengan dua metode berbeda yang memiliki fungsi masing-masing, yaitu :

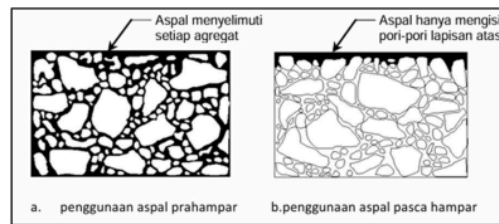
1. Pra-hampar, yaitu metode di mana aspal dicampur dengan agregat sebelum dihamparkan pada jalan. Fungsi metode ini adalah untuk membungkus dan mengikat butir-butir agregat, mengisi ruang di antara butir, serta meresap ke dalam pori-pori setiap agregat.
2. Pasca-hampar, yaitu metode seperti pada perkerasan makadam atau pelaburan yang dimana aspal disemprotkan ke atas lapisan agregat yang sudah dipadatkan dan dilapisi dengan agregat yang lebih halus. Metode

ini bertujuan untuk membentuk lapisan perkerasan atas yang kedap air tanpa mengikat agregat di bagian bawah lapisan tersebut.

Ilustrasi fungsi aspal serta proses pembentukan aspal dapat dilihat pada gambar 2. 15 dan 2. 16.



Gambar 2. 15 Fungsi Aspal Pada Setiap Butir agregat
(Sumber : Sukirman, 2016)



Gambar 2. 16 Sketsa Perbedaan Fungsi Aspal Pada Lapisan Perkerasan
(Sumber : Sukirman, 2016)

2.4 ¹ Lapisan Aspal Beton

Lapis Aspal Beton (LASTON) adalah lapisan dalam struktur jalan yang terbuat dari campuran agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal. Semua bahan tersebut dicampur, disebar, dan dipadatkan pada suhu tinggi sesuai dengan standar tertentu (Sukirman, 2010). Komponen agregatnya meliputi kombinasi antara agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dengan gradasi yang sesuai, yang kemudian dicampurkan dengan aspal jenis *penetration grade*.

Pembuatan lapis aspal beton bertujuan untuk menciptakan struktur perkerasan yang memberikan dukungan maksimal dan tahan terhadap kerusakan akibat beban lalu lintas. Selain itu, lapisan ini juga dirancang agar memiliki ketahanan terhadap air, memiliki kekuatan struktural yang tinggi, serta stabilitas yang baik dan peka terhadap perbedaan antara perencanaan dan pelaksanaannya.

Aspal beton adalah jenis lapisan dalam konstruksi perkerasan jalan yang termasuk dalam kategori perkerasan lentur yang terdiri dari campuran homogen agregat dan aspal sebagai bahan pengikat, yang diolah pada suhu

tertentu. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan yang ditempatkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan dalam konstruksi perkerasan lentur meliputi :

1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan adalah bagian paling atas dari perkerasan lentur. Pada perkerasan jalan lentur, lapisan ini menggunakan aspal sebagai pengikat untuk menciptakan lapisan yang tahan terhadap air, stabil, dan memiliki daya tahan yang baik selama penggunaannya. Di bawah lapisan aus terdapat lapisan lain yang juga menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, yaitu lapisan antara atau *binder course*. Fungsi utama lapisan ini adalah untuk menahan beban lalu lintas dan menyalurkannya ke lapisan pondasi di bawahnya. Oleh karena itu, lapisan permukaan dapat dibagi menjadi beberapa jenis :

- a. Lapis aus (*wearing course*) merupakan lapisan permukaan yang berfungsi sebagai kontak langsung dengan roda kendaraan dan terpapar oleh pengaruh perubahan cuaca.
- b. Lapis permukaan antara (*binder course*) adalah lapisan yang terletak di bawah lapis aus dan berada di atas lapisan pondasi.

2. Lapis Pondasi Atas AC-Base (*Asphalt Concrete - Base Course*)

Lapis pondasi atau *base course* merupakan lapisan perkerasan yang berada di antara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan. Apabila lapisan pondasi bawah tidak ada, maka lapisan pondasi akan ditempatkan langsung di atas permukaan tanah. Beberapa tipe lapisan pondasi yang sering digunakan di Indonesia antara lain :

a. Laston Lapis Pondasi

Laston Lapis Pondasi (*Asphalt Concrete Base atau AC-Base*) merupakan jenis perkerasan aspal yang diaplikasikan pada lapisan pondasi dengan ketebalan nominal minimum 60 mm dan toleransi ± 5 mm. Material agregat yang digunakan memiliki ukuran maksimum hingga 37,5 mm (1,5 inci).

b. Lasbutang Lapis Pondasi

Lasbutang Lapis Pondasi adalah campuran antara agregat asbuton dan bahan peremaja yang diolah menggunakan metode pencampuran dingin, kemudian diaplikasikan dengan cara disebar dan dipadatkan. Lapisan ini memiliki ketebalan nominal minimum 50 mm dan menggunakan agregat berukuran maksimum 25 mm (1 inci).

c. Lapis Pondasi Agregat

Lapis Pondasi Agregat merupakan lapisan yang tersusun dari butiran agregat. Berdasarkan gradasinya, lapisan ini terbagi menjadi dua kategori, yaitu agregat Kelas A dan Kelas B. Ketebalan setiap lapisan harus memiliki ukuran minimal dua kali lipat dari ukuran maksimum agregat, sesuai dengan informasi yang tercantum dalam tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Gradasi Lapis Pondasi Agregat

Ukuran saringan		Presentase berat yang lolos, % lolos	
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B
3"	75		
2"	50		100
1 ½	37,5	100	88-100
1"	25	77-100	70-85
3/8"	9,5	44-100	40-65
No.4	4,75	27-44	25-52
No.10	2	17-30	15-40
No.40	0,425	7-17	8-20
No.200	0,075	2-8	2-8

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2007)

d. Lapis Penetrasi Macadam

Lapis Penetrasi Macadam adalah jenis lapisan perkerasan yang dibentuk dari agregat kasar yang disusun berlapis-lapis dan dipadatkan menggunakan alat berat. Proses ini dilakukan dengan menambahkan aspal pada agregat untuk memastikan material saring terikat dan membentuk lapisan yang kokoh. Jenis lapisan ini umumnya digunakan sebagai lapisan dasar atau pondasi pada konstruksi jalan.

e. Lapis Pondasi Agregat Semen

Lapis Pondasi Agregat Semen merupakan campuran agregat kelas A, B, atau C dengan semen yang digunakan sebagai lapisan pondasi. Lapisan ini harus diaplikasikan di atas lapisan pondasi bawah yang terdiri dari agregat kelas C. Ketentuan mengenai sifat lapis pondasi agregat semen dapat dilihat pada tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Ketentuan Sifat Lapis Pondasi Agregat Semen

Lapis Pondasi Agregat Semen	Kuat Tekan Bebas Umur 7 Hari (kg/c m ²)	
	Silinder (diameter 70 mm x tinggi 140 mm)	Silinder (diameter 150 mm x tinggi 30 mm)
Kelas A	45	75
Kelas B	35	55
Kelas C	30	35

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2007)

f. Lapis Pondasi Tanah Semen

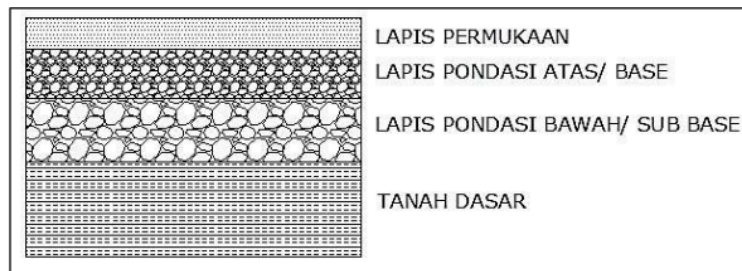
Lapis Pondasi Tanah Semen adalah lapisan pondasi yang terbuat dari tanah pilihan di sekitar Lokasi, seperti tanah lempung atau tanah berbutir seperti pasir dan kerikil dengan Tingkat plastisitas rendah. Tanah tersebut dicampur dengan semen dan air dalam perbandingan yang telah ditentukan, baik di Lokasi proyek maupun di tempat pencampuran terpusat, hingga tercampur secara merata. Lapisan ini dirancang untuk memiliki daya dukung yang memadai sehingga dapat berfungsi sebagai pondasi.

3. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah merupakan bagian dari struktur perkerasan yang terletak di antara lapisan pondasi atas dan tanah dasar. Perannya adalah membantu menyalurkan serta menopang beban kendaraan agar terdistribusikan dengan baik ke tanah dasar. Selain itu, lapisan ini juga berkontribusi dalam penghematan biaya dengan memungkinkan pengurangan ketebalan lapisan di atasnya.

4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar adalah permukaan tanah asli, baik yang digali maupun yang ditimbun dan dipadatkan, yang terletak di bawah lapisan pondasi bawah. Kualitas dan daya tahan perkerasan jalan sangat bergantung pada karakteristik dan kapasitas daya dukung tanah dasar tersebut. Ilustrasi susunan lapisan konstruksi pada perkerasan lentur disajikan pada gambar 2. 17.



Gambar 2. 17 Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur
(Sumber : Putra & Hartatik, 2023)

Berdasarkan ilustrasi di atas, lapisan yang menanggung beban terbesar yaitu lapisan permukaan (*Surface Course*) yang kemudian menyalurkan beban tersebut ke lapisan-lapisan di bawahnya. Lapisan aspal beton campuran panas ini terbagi menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Laston sebagai lapisan aus atau AC-WC (*Asphalt Concrete - Wearing Course*) merupakan bagian perkerasan yang terletak pada bagian paling atas dengan ketebalan minimum 4 cm, lapisan ini memiliki permukaan halus dan kesat yang berfungsi sebagai penahan beban roda kendaraan yang bersentuhan langsung dengan permukaan jalan. Selain itu, lapisan ini juga melindungi perkerasan dari pengaruh air agar air yang jatuh agar tidak meresap ke lapisan bawah sehingga badan jalan terlindungi dari tidak meresap ke lapisan bawah sehingga badan jalan terlindungi dari kerusakan akibat cuaca.
2. Laston sebagai lapisan pengikat, disebut juga AC-BC (*Asphalt Concrete - Binder Course*). Lapisan ini merupakan bagian dari perkerasan yang terletak di antara lapisan aus dan lapisan pondasi atas dengan ketebalan minimum 5 cm. Fungsinya adalah untuk menurunkan tegangan serta menahan beban maksimum yang diakibatkan oleh lalu lintas, sehingga lapisan ini harus memiliki stabilitas yang tinggi.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, yang disebut AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*) dengan ketebalan minimum 6 cm. Lapisan ini tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca namun tetap membutuhkan stabilitas yang cukup untuk menahan beban lalu lintas yang ditransfer oleh roda kendaraan.

Aturan mengenai ketentuan sifat-sifat campuran aspal beton dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston Modifikasi		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah Tumbukan per bidang		75		112
Rasio Partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks	1,6		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	Min.	1000		2250
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min.	2		
Stabilitas dinamis, lintasan/mm	Min.	2500		

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2020)

Dalam suatu campuran lapisan perkerasan aspal beton perlu adanya peranan pendukung untuk memastikan ketahanannya terhadap kondisi lalu lintas dengan yang intens dan fluktuasi cuaca, sehingga perkerasan dapat tetap aman, nyaman dan kuat (Direktorat Jendral Bina Marga, 2020). Oleh karena itu, perkerasan harus memiliki beberapa faktor pendukung berikut ini :

1. Keseimbangan (Stabilitas) adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami distorsi bentuk seperti gelombang, cekungan atau *bleeding*. Untuk Kawasan dengan intensitas lalu lintas yang tinggi, diperlukan perkerasan yang memiliki stabilitas yang lebih baik. Beberapa elemen yang mempengaruhi stabilitas beton aspal antara lain :
 - a. Gesekan internal yaitu gaya yang timbul akibat dari kekerasan permukaan agregat, luas bidang agregat, serta ketebalan lapisan aspal yang terbentuk oleh gesekan antarbutir agregat yang saling mengunci.

- b. Kohesi yaitu gaya ikat yang dimiliki aspal untuk mempertahankan kontak antarbutir agregat yang dipengaruhi oleh tingkat penetrasi aspal, perubahan viskositas karena suhu, beban yang diterima, serta faktor usia aspal.
2. Keawetan (Durabilitas) merujuk pada kemampuan beton aspal untuk menahan repetisi gaya lalu lintas seperti beban kendaraan, gesekan antar roda dan permukaan jalan, serta dampak keausan akibat kondisi cuaca. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh ketebalan lapisan beton, jumlah rongga dalam campuran, kepadatan, dan sifat kedap air dari campuran tersebut.
3. Kelenturan (Fleksibilitas) merujuk pada kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri terhadap penurunan atau konsolidasi tanah dasar tanpa mengalami retak akibat perubahan volume yang disebabkan oleh repetisi beban lalu lintas atau berat tanah itu sendiri.
4. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*) adalah kemampuan beton aspal untuk menahan lendutan berulang yang diakibatkan oleh repetisi beban lalu lintas, tanpa mengalami kelelahan berupa alur atau retak. Hal ini dapat dicapai dengan penggunaan kadar aspal yang tinggi.
5. Kekesatan atau tahanan geser (*Skid Resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal untuk memberikan gaya gesek yang cukup pada roda kendaraan agar tidak terjadi selip atau pergelinciran, terutama dalam kondisi basah. Faktor-faktor yang mendukung kekesatan jalan, yang juga berkontribusi terhadap stabilitas tinggi, meliputi kekasaran permukaan butir agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal selimut aspal.
6. Kedap Air (*Impermeabilitas*) adalah kemampuan beton aspal untuk mencegah masuknya air dan udara ke dalam lapisan, karena keberadaan air dan udara dapat mempercepat penuaan aspal dan menyebabkan pengelupasan lapisan aspal dari agregat. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan durabilitasnya.
7. Pelaksanaan mudah (*Workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk disebar dan dipadatkan dengan mudah. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan memengaruhi efisiensi pekerjaan dengan faktor-faktor yang memengaruhinya antara lain :
 - a. Viskositas aspal adalah nilai kekentalan aspal yang menunjukkan konsistensi sebenarnya atau perilaku aspal terhadap perubahan temperatur. Nilai kekentalan aspal sebanding lurus dengan nilai

- temperatur, sehingga temperatur aspal dapat dijadikan acuan dalam pekerjaan di lapangan.
- b. Kepekaan aspal terhadap perubahan suhu terlihat dari sifatnya, di mana aspal menjadi lebih lunak ketika temperatur berkurang dan lebih cair saat temperatur meningkat. Setiap jenis aspal menunjukkan tingkat perubahan yang berbeda-beda tergantung pada asal produksinya, meskipun memiliki jenis yang sama.
 - c. Gradasi agregat sangat memengaruhi kualitas campuran aspal, karena gradasi tersebut berperan dalam memberikan kekuatan yang berdampak langsung pada stabilitas campuran. Hal ini terjadi melalui mekanisme saling mengunci (*interlocking*) dari masing-masing partikel agregat kasar.

2.5 Agregat

Agregat secara umum didefinisikan sebagai lapisan keras dan padat dari permukaan bumi. Bahan ini terdiri dari partikel keras yang memiliki variasi ukuran butiran, yang bisa berupa agregat alami maupun agregat yang telah dihancurkan. Agregat memainkan peran utama dalam struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% dari total beratnya, atau 75-85% dari volume total perkerasan tersebut (Sukirman, 2016).

Secara umum, campuran aspal menggunakan jenis agregat seperti agregat kasar, agregat halus, serta abu batu (*filler*), yang berfungsi untuk meningkatkan stabilitas campuran serta sebagai pengisi, sehingga membuat campuran lebih efisien dari segi biaya (Nabila dkk., 2020)

2.5.1 Agregat Kasar

Agregat kasar (*Coarse Aggregate*) yang sering dikenal sebagai kerikil, adalah material yang dihasilkan melalui proses desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Ukuran butiran bervariasi antara 4,75 mm hingga 150 mm (Pratiwi, 2020).

¹⁴ Agregat kasar yang digunakan dalam campuran aspal panas umumnya terdiri dari batu pecah atau kerikil yang memiliki sifat **kering**, kokoh, tahan lama, dan tidak mengandung **bahan yang** dapat merusak kualitas campuran. Fraksi agregat kasar yang digunakan harus dapat tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm). Definisi agregat Menurut **Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)** yang dikeluarkan oleh (Direktorat Jendral Bina Marga, 2020) adalah :

1. Fraksi agregat kasar yang digunakan dalam desain campuran harus terperangkap pada saringan NO.4 (4,75 mm) dengan metode pencucian

basah, dan harus memiliki kualitas yang bersih, keras, tahan lama, serta bebas dari kotoran atau bahan-bahan yang tidak diinginkan. Agregat kasar ini harus berupa batu pecah yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu dan disiapkan dengan ukuran nominal yang sesuai dengan jenis campuran yang diinginkan.

2. Agregat kasar harus memiliki bentuk angular. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persentase dari berat agregat yang memiliki ukuran lebih besar dari 4,75 mm dan memiliki satu atau lebih sisi yang pecah, berdasarkan uji SNI 7619:2012.
3. Fraksi agregat kasar harus disusun secara terpisah dan diangkut ke fasilitas pencampuran aspal menggunakan sistem penampung dingin (*cold bin feeds*), sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik. Ketentuan agregat kasar dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	Natrium sulfat	SNI 3407-2018	Maks. 12%	
	Magnesium sulfat		Maks. 18%	
Abrasi dengan mesin los angeles	Campuran AC bergradasi	100 putaran	Maks. 6%	
		500 putaran	Maks. 30%	
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	SNI 2417-2008	Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439-2011	Min. 95%	
Butiran pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619-2012	100/90	
	Lainnya		95/90	
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 5%	
	Lainnya		Maks. 10%	
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM C1172012	Maks. 1%	

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2020)

2.5.2 Agregat Halus

Agregat halus berfungsi sebagai pengisi di antara agregat kasar, sehingga memperkuat ikatan di dalam campuran dengan berat jenis mencapai 1400 kg/m. Agregat halus yang berkualitas tidak mengandung lumpur lebih dari 5% dari total beratnya, bebas dari bahan organik yang berlebihan, serta terdiri dari butiran keras, tajam, dan bervariasi. (Pratiwi, 2020).

Sedangkan menurut (Hartatik dkk., 2014), agregat halus (pasir) adalah bahan alami yang digunakan sebagai pengisi dalam campuran aspal beton. Ukuran butirannya sendiri lebih kecil dari 2.36 mm, yaitu yang lolos dari saringan no.8 dan tertahan pada saringan No.200.

Adapun menurut (Direktorat Jendral Bina Marga, 2020) untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2) definisi agregat halus adalah :

1. Agregat halus harus berasal dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah, yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm).
2. Fraksi agregat yang berupa pasir dan pecahan mesin harus disimpan terpisah dari agregat kasar.
3. Pasir dan agregat pecah harus disimpan terpisah dan dipasok ke pabrik pencampuran aspal menggunakan sistem pemisah dingin (*cold bin feeds*), untuk memastikan kontrol yang baik terhadap gradasi campuran dan proporsi pasir yang tepat.
4. Pasir alam diperbolehkan dalam campuran aspal beton dengan batas maksimal 15% dari berat total campuran.

Untuk mendapatkan agregat halus yang sesuai dengan standar, bahan bakunya harus dicuci terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam mesin pemecah. Proses ini melibatkan penggunaan scalpin screen, di mana fraksi agregat halus tidak boleh langsung digunakan pada tahap pertama. Agregat halus harus dipisahkan menggunakan *vibro scalping screen*, dan material yang tertahan pada *vibro scalping screen* dapat dimanfaatkan sebagai agregat halus untuk komponen material fondasi agregat. Ketentuan mengenai agregat halus dapat dilihat pada tabel 2. 5 di bawah ini :

Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pepadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C1172012	Maks. 10%

(Sumber : (Direktorat Jendral Bina Marga, 2020))

2.5.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Perkembangan teknologi saat ini telah memicu berbagai studi untuk mengeksplorasi penggunaan bahan alternatif sebagai elemen dalam campuran beton aspal. Bahan pengisi untuk campuran aspal terdiri dari material yang lolos pada saringan no.30 (0.59 mm) dan paling sedikit lolos saringan no.200 (0.075 mm) (Hartatik dkk., 2014).

Filler dapat berupa material seperti debu batu, kapur, semen *portland* atau bahan lainnya. Fungsinya adalah untuk meningkatkan kepadatan serta stabilitas campuran, meningkatkan jumlah titik kontak butiran, serta mengurangi penggunaan bitumen yang diperlukan untuk mengisi rongga dalam campuran (Bramantio, 2023).

Sedangkan menurut (Direktorat Jendral Bina Marga, 2020) bahan pengisi didefinisikan sebagai berikut :

1. Bahan pengisi yang digunakan dapat berupa debu batu kapur, debu kapur padam, debu kapur magnesium atau dolomit yang memenuhi standar AASHTO M303-89(2014), serta semen atau abu terbang tipe C dan F yang sumbernya disetujui oleh pengawas pekerjaan. Penggunaan semen sebagai bahan pengisi hanya diperbolehkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal keras Pen.60-70.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus dalam keadaan kering dan bebas dari gumpalan. Jika diuji dengan pengayakan menurut SNI ASTM C136:2012 bahan tersebut harus mengandung setidaknya 75% material yang lolos saringan No.200 (75 mikron) berdasarkan beratnya.
3. Jumlah bahan pengisi yang ditambahkan, untuk semen harus berada dalam rentang 1% hingga 2% dari berat total agregat, sedangkan untuk bahan pengisi lainnya harus berkisar antara 1% hingga 3% dari berat total agregat. Kecuali untuk campuran SMA, dimana penggunaan semen tidak diperkenankan.

2.6 Aspal Modifikasi Polimer

Aspal modifikasi polimer atau disebut juga dengan aspal PG70 merupakan teknologi yang diterapkan untuk meningkatkan performa campuran aspal melalui penambahan bahan aditif ke dalam aspal (Tosi dkk., 2023). Teknologi ini melibatkan proses pencampuran aspal dengan bahan aditif, seperti polimer untuk meningkatkan kekuatan ikatan antara partikel aspal dan agregat. Penambahan polimer diperuntukkan untuk meningkatkan fleksibilitas aspal sekaligus memperpanjang ketahanannya terhadap deformasi dan kerusakan dini. Untuk mencapai tingkat kestabilan dan

kepadatan yang maksimal pada campuran aspal, bahan pengisi (*filler*) digunakan untuk menutup celah di antara agregat. *Filler* ini berperan untuk meningkatkan kohesi antar partikel sehingga menghasilkan campuran yang lebih padat, stabil, dan tahan lama. Dengan kehadiran *filler*, aspal modifikasi polimer mampu memberikan permukaan jalan yang berkualitas tinggi, mengurangi potensi keretakan, serta meningkatkan daya tahan terhadap perubahan suhu ekstrem dan tekanan berat. Aspal modifikasi polimer dapat dikelompokkan menjadi 2 kategori utama, yaitu :

1. Aspal Polimer Elastomer

Aspal polimer elastomer merupakan jenis polimer dengan karakteristik elastis yang menyerupai sifat karet alami, karet vulkanisasi, atau karet sintesis. Polimer yang sering digunakan untuk memperkuat aspal keras meliputi karet alam, lateks, silikon, *poliuretan*, *nesprene*, *styrene butadine styrene* (SBS), *styrene butadine rubber* (SRB), dan *styrene isoprene styrene* (SIS). Penambahan bahan ini bertujuan untuk meningkatkan elastisitas aspal dan membuatnya lebih tahan terhadap deformasi, sehingga memberikan performa yang lebih optimal pada permukaan jalan.

2. Aspal Polimer Plastomer

Aspal polimer plastomer dibuat dengan mencampurkan polimer plastomer untuk meningkatkan sifat reologi, seperti fleksibilitas dan elastisitas serta memperkuat kualitas fisik campuran aspal. Polimer ini membantu aspal menjadi lebih stabil terhadap deformasi, terutama pada suhu tinggi, sehingga mampu menahan beban lalu lintas yang berat. Polimer yang sering digunakan dalam proses ini meliputi *ethylene vinyl acetate* (EVA), *polypropylene*, dan *polyethylene* (PE). Dengan adanya polimer ini dapat memberikan kontribusi secara signifikan terhadap ketahanan aspal terhadap retak, memperpanjang umur pemakaian jalan, dan meningkatkan daya tahan terhadap cuaca ekstrem serta tekanan berat. Ketentuan mengenai aspal modifikasi dapat dilihat pada tabel 2.6 di bawah ini :

Tabel 2. 6 Ketentuan Aspal Modifikasi

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan	
2	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis (G*/sinδ) pada osilasi 10 rad/detik ≥ 1,0 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas kinematic 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan	
5	Daktalitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat jenis	SNI 2442:2011	≥ 1,0	-	
9	Stabilitas penyimpanan : perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 part 6.1 dan SNI 2423:2011	--	≤ 2,2	
10	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2	-	

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2020)

Tabel 2. 6 Ketentuan Aspal Modifikasi (Lanjutan)

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG70	PG76
Pengujian residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)					
11	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	≤ 0,8	
12	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis (G*/sinδ) pada osilasi 10 rad/detik ≥ 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperature 100°C dan tekanan 2,1 Mpa					
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
15	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis (G*/sinδ) pada osilasi 10 rad/detik ≥ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2020)

2.7 Limbah Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Limbah kerak tungku pembakaran genteng adalah lapisan residu atau endapan yang terbentuk di permukaan bagian dalam tungku atau peralatan pembakaran akibat pembakaran bahan bakar. Kerak ini umumnya terdiri dari sisa material yang tidak terbakar sempurna, serta elemen-elemen lain dari bahan bakar, seperti sulfur atau mineral logam. Pembentukan kerak pada tungku dapat mengganggu efisiensi pembakaran dan menurunkan kinerja tungku karena lapisan kerak ini menghambat transfer panas, sehingga memerlukan pembersihan secara berkala.

Limbah kerak tungku pembakaran genteng sering dianggap tidak memiliki nilai guna. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses pengolahan terhadap limbah kerak ini untuk memberikan nilai tambah, salah satunya sebagai bahan substitusi *filler* pada perkerasan jalan lentur dengan aspal beton. Limbah kerak ini diolah dengan cara ditumbuk hingga menjadi serbuk halus, yang kemudian dicampurkan dengan material perkerasan jalan.

Limbah kerak tungku pembakaran genteng mengandung unsur yang serupa dengan semen, yang umumnya digunakan sebagai filler dalam campuran aspal beton, sehingga memiliki potensi untuk menggantikan bahan filler tersebut. Kerak tungku pembakaran genteng kaya akan silika (SiO_2) dan aluminium, di mana silika dalam aspal beton dapat memperbaiki ketahanan dan stabilitas campuran. Komposisi kimia kerak tungku pembakaran genteng memiliki kesamaan dengan senyawa pozzolan dalam semen, terutama kandungan silika yang diyakini dapat mengurangi jumlah aspal dan sekaligus meningkatkan stabilitas campuran. Berikut adalah alasan mengapa kerak tungku pembakaran genteng dapat digunakan sebagai bahan pengganti *filler* pada perkerasan lentur :

1. Kerak tungku pembakaran genteng lolos saringan No.200 (0,075 mm), sehingga memenuhi persyaratan sebagai bahan pengisi (*filler*).
2. Kerak tungku pembakaran genteng mengandung senyawa kimia seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan senyawa lainnya yang memenuhi kriteria sebagai bahan pozzolan.
3. Kerak tungku pembakaran tidak mengandung bahan berbahaya, sehingga aman digunakan selama proses pengujian aspal tanpa menimbulkan risiko bagi manusia.
4. Kerak tungku memiliki sifat non-plastis, yang menjadikannya stabil dalam campuran aspal tanpa mengubah karakteristik plastisitas campuran.

Senyawa kimia dalam limbah kerak tungku pembakaran genteng dan batu kapur dapat dilihat pada tabel 2.7 dan 2.8.

Tabel 2. 7 Hasil Uji Senyawa Kerak Tungku Pembakaran Genteng

No.	Chemical Composition	Amount (%)
1.	Al_2O_3	12
2.	SiO_2	36,7
3.	P_2O_5	0,75

(Sumber : Hasil Pengujian Independen XRF (Universitas Negeri Malang), 2024)

Tabel 2. 7 Hasil Uji Senyawa Kerak Tungku Pembakaran Genteng
(Lanjutan)

No.	Chemical Composition	Amount (%)
4.	K ₂ O	16,5
5.	CaO	12,3
6.	TiO ₂	1,19
7.	V ₂ O ₅	0,077
8.	Cr ₂ O ₃	0,048
9.	MnO	0,37
10.	Fe ₂ O ₃	19,0
11.	CuO	0,058
12.	ZnO	0,03

(Sumber : Hasil Pengujian Independen XRF (Universitas Negeri Malang), 2024)

Tabel 2. 8 Komposisi Kimia Batu Kapur

No.	Chemical Composition	Amount (%)
1.	CaO	84,70
2.	MgO	5,70
3.	SiO ₂	1,10
4.	Al ₂ O ₃	0,80
5.	Fe ₂ O ₃	7,22
6.	MnO	0,28
7.	CuO	0,10
8.	SrO	0,08
9.	Br	0,01

(Sumber : Gunawan, 2016)

2.8 Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi kinerja dan ketahanan perkerasan jalan. Setiap jenis perkerasan memiliki

standar gradasi yang tercantum dalam pedoman material perkerasan. Ukuran partikel agregat ini dapat dianalisis melalui pengujian menggunakan saringan.

Gradasi agregat memengaruhi jumlah pori atau rongga yang terbentuk dalam campuran. Campuran yang hanya terdiri dari agregat dengan ukuran seragam cenderung memiliki banyak rongga atau pori, karena tidak ada agregat yang lebih kecil untuk mengisi ruang kosong tersebut. Sebaliknya, campuran dengan variasi ukuran agregat dari besar hingga kecil akan mengurangi jumlah rongga, karena partikel kecil dapat mengisi ruang kosong di antara agregat yang lebih besar.

Gradasi agregat merujuk pada susunan agregat yang disesuaikan agar sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Perbaikan gradasi dilakukan melalui metode pencampuran. Jika agregat yang ada terlalu besar, maka akan dicampurkan dengan agregat yang lebih kecil, dan sebaliknya. Perencanaan dan komposisi campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mengikuti rentang yang ditentukan pada tabel 2. 9.

Tabel 2. 9 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston AC		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
¾"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
3/8"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	08 - 12	08 - 11	08 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

(Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, 2020)

2.9 Pengujian Agregat

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi apakah material memenuhi syarat sebagai bahan campuran dan untuk memastikan

kesesuaiannya dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh (Direktorat Jendral Bina Marga, 2020). Selain itu, beberapa pengujian juga berperan dalam menentukan rasio komposisi campuran.

2.9.1 Pengujian Analisa Saringan

Analisa saringan adalah suatu Teknik untuk mengukur sebaran ukuran partikel agregat dengan menggunakan proses penyaringan. Dalam prosedur ini, material agregat disaring melalui sejumlah saringan dengan berbagai ukuran mesh yang bervariasi, mulai dari yang terbesar hingga yang lebih kecil. Hasil dari proses penyaringan ini digunakan untuk menghitung persentase berat agregat yang tertahan di masing-masing saringan, yang pada akhirnya menggambarkan sebaran ukuran partikel dalam campuran agregat tersebut.

Perancangan gradasi dibagi menjadi tiga kategori utama, yakni gradasi padat (gradasi rapat atau menerus), gradasi senjang (*gab graded*) dan gradasi tunggal (*open graded*). Setiap jenis tipe gradasi memiliki pola distribusi dengan ukuran partikel yang berbeda dan diterapkan sesuai dengan kebutuhan spesifik campuran :

- Gradasi rapat meliputi AC-WC, AC-BC dan AC-Base, AC dan ATB.
- Gradasi senjang mencakup HRS.
- Gradasi terbuka mencakup *stone matrix* aspal, dan *sand sheets*.

Peran komposisi gradasi atau susunan butir agregat dalam campuran aspal melibatkan beberapa aspek penting, diantaranya sebagai berikut :

- a. Menetapkan proporsi yang tepat agar campuran agregat memenuhi berbagai jenis gradasi, seperti gradasi padat (rapat), gradasi senjang, hingga gradasi terbuka atau tunggal.
- b. Menghitung luas permukaan agregat dalam 1 kg, yang digunakan untuk menentukan volume aspal efektif berdasarkan ketebalan lapisan yang direncanakan.
- c. Berat aspal yang dibutuhkan dapat dihitung dengan mengalikan volume aspal efektif yang diperoleh pada Langkah 2 dengan densitas aspal yang digunakan.
- d. Berat aspal yang diperoleh dari pada langkah 3 dibagi dengan berat total (berat agregat 1 kg ditambah dengan berat aspal yang dihitung pada Langkah 3) kemudian dikalikan dengan 100% untuk menentukan persentase kadar aspal efektif $As. \text{ eff} = (a / (a+1) \times 100\%)$.
- e. Untuk menentukan perkiraan kadar aspal dalam campuran, yang didapatkan dengan menambahkan kadar aspal efektif dengan setengah dari nilai penyerapan agregat terhadap air. Rumusnya : $Kadar \text{ aspal} = A \text{ eff} + \% \frac{1}{2} \text{ Nilai penyerapan air}$.

Dalam analisis ayakan, terdapat rumus yang digunakan untuk menghitung persentase tertahan dan persentase lolos.

$$\text{Persentase tertahan} = \frac{\text{Kumulatif massa tertahan saringan}}{\text{massa semula}} \times 100 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\text{Persentase lolos} = 100\% - \text{kumulatif \% tertahan tiap saringan} \dots \dots \dots (2.2)$$

2.9.2 Pengujian Berat Jenis Agregat dan Penyerapan

Berat jenis agregat merupakan salah satu faktor utama yang dipertimbangkan dalam desain campuran. Berat jenis agregat diartikan sebagai perbandingan antara massa agregat pada suatu volume tertentu dengan massa air dalam volume yang sama pada suhu tertentu. Terdapat empat klasifikasi berat jenis agregat (*specific gravity*), bergantung pada jenis volume yang menjadi dasar perhitungan, yaitu :

a. Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*), atau yang dikenal juga sebagai berat jenis curah kering (S_d), adalah nilai yang diperoleh dengan menghitung rasio massa agregat dalam kondisi kering terhadap total volume agregat, termasuk pori-pori yang tidak terisi air ($V_s + V_i + V_p + V_c$).

- Rumus berat jenis bulk (agregat halus) :

$$\frac{B_k}{B + B_j - B_t} \dots \dots \dots (2.3)$$

- Rumus berat jenis bulk (agregat kasar) :

$$\frac{B_k}{B_j - B_a} \dots \dots \dots (2.4)$$

b. Berat jenis jenuh kering permukaan jenuh (*saturated surface dry specific gravity*) yang juga dikenal sebagai berat jenis curah, S_s , adalah berat jenis yang memperhitungkan massa agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan. Hal ini mencakup massa agregat kering ditambah dengan massa air yang dapat meresap ke dalam pori agregat, serta seluruh volume ($V_s + V_i + V_p + V_c$).

- Rumus berat jenis kering permukaan jenuh (agregat halus) :

$$\frac{B_j}{(B + B_j -)} \dots \dots \dots (2.5)$$

- Rumus berat jenis kering permukaan jenuh (agregat kasar) :

$$\frac{B_j}{(B_j - B_a)} \dots \dots \dots (2.6)$$

c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*), S_a , merupakan nilai yang dihitung berdasarkan massa agregat dalam kondisi kering dan volume agregat tidak memiliki kemampuan menyerap air ($V_s + V_i$).

- Rumus berat jenis semu (agregat halus) :

$$\frac{Bk}{(B+Bk)} \dots\dots\dots(2.7)$$

- Rumus berat jenis semu (agregat kasar) :

$$\frac{Bk}{(Bk+B)} \dots\dots\dots(2.8)$$

- d. Berat jenis efektif (*effective specific gravity*) adalah nilai yang menggambarkan rasio massa agregat dalam keadaan kering, yaitu tanpa kandungan air terhadap total volume agregat yang tidak mampu menyerap aspal ($V_s + V_i + V_p$).

- Rumus penyerapan (agregat halus) :

$$\frac{Bj-B}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

- Rumus penyerapan (agregat kasar) :

$$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan rumus :

Bk = massa kering oven (gram)

Bj = massa kering permukaan jenuh / SSD (500 gr)

B = massa piknometer + air (gram)

Bt = massa piknometer + agregat + air (gram)

Ba = massa di dalam air (gram)

2.9.3 Pengujian Keausan Agregat Kasar

Ketahanan agregat merujuk pada kemampuan agregat untuk mempertahankan kualitasnya meskipun terpengaruh oleh proses mekanis maupun kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu perubahan gradasi akibat pecahnya partikel-partikel agregat. Kerusakan ini dapat terjadi karena faktor mekanis, seperti gaya yang timbul selama proses pelaksanaan perkerasan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan, serta beban lalu lintas) maupun faktor kimiawi, seperti kelembaban, suhu tinggi, serta fluktuasi suhu sepanjang hari. Untuk mengukur ketahanan agregat terhadap tekanan mekanis, dilakukan pengujian keausan menggunakan mesin abrasi Los Angeles, sesuai dengan SNI 2417:2008, di mana gaya mekanis diperoleh dari bola-bola baja.

Rumus nilai keausan Los Angeles :

$$\frac{a-b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

a = massa benda uji semula (gram)

b = massa benda uji tertahan saringan No. 12 (gram)

2.9.4 Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal

Kelekatan agregat mengacu pada persentase area permukaan agregat yang dilapisi oleh aspal dibandingkan dengan luas permukaan keseluruhannya. Pengujian ini bertujuan untuk menilai kemampuan agregat dalam berikatan dengan aspal. Metode pengujian ini dapat diterapkan pada berbagai jenis bahan dan berfungsi sebagai langkah kontrol mutu agregat dalam pembangunan jalan raya.

2.9.5 Pengujian Sand Equivalent

Pengujian *sand equivalent* merupakan metode untuk menilai jumlah bahan plastis, seperti lempung atau lanau, yang terkandung dalam agregat halus dengan pendekatan yang berfokus pada setara pasir. Nilai setara pasir dihitung sebagai rasio antara pembacaan skala pasir terhadap pembacaan skala lumpur pada alat uji setara pasir, yang dinyatakan dalam bentuk persentase.

Rumus *Sand Equivalent* (SP) atau setara pasir:

$$\text{Nilai Sp} = \frac{\text{Skala Pembacaan Pasir}}{\text{Skala Pembacaan Permukaan Lumpur}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

2.10 Perencanaan Campuran Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah faktor penting yang mempengaruhi performa atau ketahanan jalan, di mana setiap jenis konstruksi jalan memiliki gradasi agregat yang spesifik, yang tercantum dalam setiap spesifikasi material untuk perkerasan jalan (Manoppo & Palenewen, 2019).

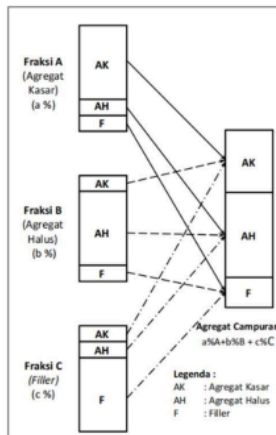
Secara umum, agregat yang diperoleh di lokasi, baik yang berasal dari mesin pemecah batu maupun sumber alami, sering kali tidak sesuai dengan gradasi yang diharapkan dalam spesifikasi pekerjaan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penvampuran agregat dengan berbagai ukuran. Agregat yang ditemukan pada sumber atau pemasok dan memenuhi kriteria bentuk serta ukuran tertentu disebut sebagai fraksi agregat.

Berdasarkan ukuran dominan dari kelompok agregat yang tersedia, agregat dapat diklasifikasikan menjadi fraksi agregat kasar, fraksi agregat halus, dan fraksi abu batu.. Berikut merupakan fraksi agregat menurut ukurannya, yaitu :

- A. Fraksi agregat kasar merupakan agregat yang terdiri dari sebagian besar butiran agregat kasar, dengan sedikit campuran agregat halus dan abu batu.

- B. Fraksi agregat halus merupakan agregat dominan terdiri dari butiran kecil, dengan tambahan sedikit agregat kasar dan abu batu.
- C. Fraksi abu batu merupakan agregat yang terdiri dari mayoritas butiran abu batu, dengan sedikit campuran agregat kasar dan halus.

Apabila lebih dari tiga jenis fraksi yang akan dicampur, maka dapat ditambahkan fraksi agregat sedang. Agregat campuran merupakan hasil dari pencampuran secara proporsional antara fraksi A, B, dan C yang di mana setiap fraksi dirancang dengan proporsi tertentu untuk menghasilkan gradasi agregat yang diinginkan. Rumus dasar untuk menggabungkan dua, tiga atau lebih fraksi agregat dapat dilihat pada gambar 2. 18 berikut :



Gambar 2. 18 Rancangan Pencampuran Agregat
(Sumber : (Sukirman, 2016))

Pada gambar diatas menggambarkan bahwa agregat campuran diperoleh dengan menggabungkan a% fraksi agregat kasar, b% fraksi agregat halus, dan c% fraksi abu batu, dengan syarat bahwa jumlah a,b, dan c harus mencapai 100%.

2.11 Rancangan Agregat Campuran Dengan Metode Analitis

Tujuan dari pencampuran tiga jenis fraksi agregat adalah untuk mencapai gradasi campuran yang ideal dan sesuai dengan kriteria, yaitu berada dalam rentang batas maksimum dan minimum. Persamaan dasar untuk menggabungkan dua, tiga, atau lebih fraksi agregat dapat dituliskan seperti berikut :

Rumus :

$$P = aA + bB + cC \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan :

P	= Persen lolos ayakan dengan bukaan d mm, sesuai gradasi rencana
A	= Persen lolos ayakan fraksi agregat A untuk bukaan d mm
B	= Persen lolos ayakan fraksi agregat B untuk bukaan d mm
C	= Persen lolos ayakan fraksi agregat C untuk bukaan d mm
a	= Proporsi agregat A
b	= Proporsi agregat B
c	= Proporsi agregat C

Nilai a, b, c didapatkan melalui metode “trial and error”, karena perhitungan P untuk satu ukuran saringan tidak selalu menghasilkan campuran yang memenuhi semua spesifikasi. Proporsi yang optimal adalah yang menghasilkan gradasi agregat campuran yang paling mendekati titik tengah dari rentang spesifikasi yang telah ditentukan.

2.12 ¹ Pengujian Aspal

Pada penelitian ini, jenis aspal yang akan digunakan adalah aspal modifikasi PG70. Beberapa pengujian yang dilakukan terhadap aspal antara lain adalah sebagai berikut :

2.12.1 Pengujian Penetrasi Aspal

Penetrasi merupakan pengujian untuk menilai sejauh mana jarum dengan ukuran dan beban tertentu dapat masuk ke dalam aspal yang bersifat keras atau lembek (solid atau semi solid) pada suhu 77°F atau 25°C, yang dimana suhu ini diperkirakan mewakili kondisi suhu permukaan jalan pada perkerasan jalan pada keadaan normal di lapangan (Bramantio & Hartatik, 2023). Hasil penetrasi kemudian diukur dan diberikan nilai yang dikalikan dengan 0,1 mm (Sistra dkk., 2015).

2.12.2 Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal dilakukan untuk menentukan suhu di mana aspal mulai terbakar dan suhu saat aspal mulai menyala (Pratama & Yusuf, 2019). Titik nyala adalah suhu di mana aspal hanya menyala sebentar, sementara titik bakar adalah suhu di mana aspal menyala selama minimal 5 detik (Sukirman, 2016). Pengujian ini dilakukan secara manual menggunakan alat Cleveland Open Cup, sesuai dengan standar yang berlaku. Metode ini diterapkan pada berbagai jenis aspal dengan rentang titik nyala antara 79°C hingga 400 °C .

2.12.3 Pengujian Titik Lembek Aspal

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan suhu di mana aspal tidak dapat lagi menahan bola baja dan mulai meleleh. Titik lembek didefinisikan sebagai suhu di mana lapisan aspal setebal 5 mm mengalami

pelunakan hingga mencapai jarak 25,4 mm saat diberi beban berupa bola baja berdiameter 9,53 mm dengan berat 3,5 mg. Aspal yang memiliki titik lembek yang lebih tinggi menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap perubahan suhu, sehingga lebih ideal digunakan sebagai bahan pengikat dalam konstruksi perkerasan jalan.

2.12.4 Pengujian Berat Jenis Aspal

Pengujian berat jenis dilakukan dengan cara membandingkan massa aspal dengan massa air suling yang memiliki volume sama pada suhu yang ditentukan.

Rumus berat jenis :

$$BJ = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan :

A = massa piknometer (dengan penutup) (gram)

B = massa piknometer berisi air (gram)

C = massa piknometer berisi aspal (gram)

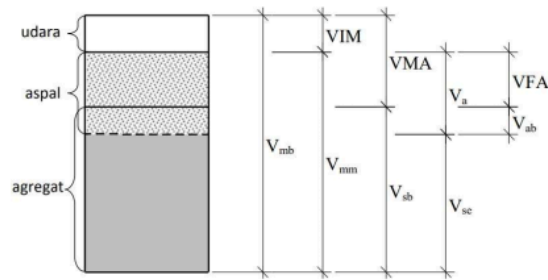
D = massa piknometer berisi aspal dan air (gram)

2.12.5 Pengujian Daktilitas Aspal

Pengujian daktilitas bertujuan untuk menilai sejauh mana aspal dapat meregang sesuai dengan standar dan spesifikasi yang ditetapkan. Pengujian ini dilakukan pada suhu $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dengan cara mengukur Panjang pemuluran aspal dalam cetakan saat putus setelah ditarik dengan kecepatan 50 mm per menit $\pm 2,5$ mm. Aspal dengan Tingkat daktilitas tinggi memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengikat butiran agregat, tetapi cenderung lebih sensitif terhadap perubahan suhu.

2.13 Volumetrik Campuran Beraspal

Campuran beraspal secara volumetrik menggambarkan hubungan antara volume rongga dalam campuran, rongga di antara agregat, rongga yang terisi oleh aspal, volume agregat, volume aspal serta tingkat kepadatan campuran beraspal. Hubungan ini mencerminkan karakteristik atau performa dari campuran tersebut. Oleh karena itu, spesifikasi teknis sering kali menetapkan batasan tertentu dalam analisis volumetrik untuk memastikan bahwa campuran yang dihasilkan memenuhi standar ketahanan, kekuatan, dan kemudahan dalam pengerjaan. Skema volumetrik dalam campuran beraspal dapat dilihat pada gambar 2.19 berikut.



Gambar 2 19 Skematis Berbagai Jenis Rongga Beton Aspal Padat
(Sumber : (Sukirman, 2016))

Komponen volumetrik dalam campuran beraspal meliputi :

- V_{mb} = Volume *bulk* dari campuran beton aspal padat.
- V_{sb} = Volume agregat, merujuk pada volume *bulk* dari agregat, yang mencakup (volume bagian massif + pori-pori di dalam setiap partikel agregat).
- V_{se} = Volume agregat efektif, yang mencakup (volume bagian masif + pori yang tidak terisi aspal dalam agregat).
- VMA = Volume ruang kosong antara butir-butir agregat dalam beton aspal padat.
- V_{mm} = Volume teoritis tanpa rongga dari beton aspal padat.
- VIM = Volume pori dalam beton aspal padat.
- V_a = Volume aspal dalam beton aspal padat.
- VFA = Volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal.
- V_{ab} = Volume aspal terabsorpsi ke dalam agregat dari beton aspal padat.

Perhitungan berat jenis serta volume rongga dalam campuran beraspal dilakukan menggunakan dengan menerapkan rumus-rumus berikut :

1. Berat jenis *Bulk* Beton Aspal Padat (G_{mb})

Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat dihitung berdasarkan prinsip Archimedes, yaitu :

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan :

- G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat
- B_k = berat kering beton aspal padat (gram)
- B_{ssd} = berat kering permukaan dari beton aspal padat (gram)

B_a = berat beton aspal padat di dalam air (gram)
 $B_{ssd} - B_a$ = volume *bulk* beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan 1

Pengujian berat jenis *bulk* beton aspal padat dilakukan sesuai dengan standart AASHTO T166-88. Sedangkan, perhitungan nilai penyerapan air menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{B_{ssd}-B_k}{B_{ssd}} \times 100 \dots \dots \dots (2.16)$$

2. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal Yang Belum Dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis maksimum campuran beton aspal yang belum dipadatkan merupakan berat jenis campuran tersebut Ketika tidak mengandung rongga atau udara.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dengan :

G_{mm} = berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan.

P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %

P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat, %

G_{se} = berat jenis agregat efektif

G_a = berat jenis aspal

3. Rongga Pori Dalam Agregat Capuran (VMA)

Rongga pori dalam agregat campuran atau *Void in the Mineral Aggregate* (VMA) merujuk pada total volume rongga dalam campuran beraspal dan volume kadar aspal efektif, tanpa memperhitungkan aspal yang terserap oleh agregat.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right) \% \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan :

VMA = volume rongga agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat, %

G_{sb} = berat jenis *bulk* agregat pembentukan beton aspal

4. Rongga Pori Dalam Beton Aspal (VIM)

Volume rongga dalam beton aspal padat (VIM) merujuk pada ruang kosong yang ada di antara partikel agregat yang sudah dilapisi aspal, atau volume ruang kosong dalam beton aspal padat. VIM dihitung sebagai persentase dari volume total beton aspal padat :

$$VIM = 100 - \left(\frac{100 \times G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan :

VIM = rongga di dalam campuran setelah pemadatan, % total campuran

G_{mm} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

5. Rongga Pori Antara Butir Agregat dan Terisi Bitumen/Aspal (VFA)

Volume rongga antara butir-butir agregat dalam beton aspal padat, yang dikenal sebagai VMA, terbagi menjadi dua bagian : Sebagian diisi dengan aspal, sementara sisanya merupakan VIM. Bagian dari VMA yang terisi aspal disebut VFA. VFA adalah bagian dari VMA yang terisi aspal, namun tidak mencakup aspal yang terserap ke dalam pori-pori agregat. Dengan kata lain, aspal yang mengisi VFA berfungsi untuk membungkus atau melapisi agregat dalam beton aspal padat, yang menciptakan lapisan pelindung aspal.

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan :

VFA = volume rongga antara butir agregat yang terisi aspal %

VMA = volume rongga antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

VIM = volume rongga dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

6. Kadar Aspal yang Terabsorpsi Ke Dalam Pori Agregat (P_{ab})

Aspal yang terabsorpsi memiliki peran penting dalam melapisi permukaan agregat sekaligus mengisi pori-pori di dalamnya. Pada campuran beton aspal dengan jumlah aspal yang sama, agregat dengan jumlah pori lebih besar cenderung menyerap lebih banyak aspal. Akibatnya, lapisan aspal pada permukaan agregat menjadi lebih tipis, yang dapat menurunkan ketahanan beton aspal terhadap kerusakan. Sebaliknya, jika jumlah aspal yang terserap lebih sedikit, maka lapisan aspal akan lebih tebal, sehingga daya tahan beton aspal meningkat. Namun, hal ini juga meningkatkan risiko terjadinya *bleeding*.

$$P_{ab} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} G_a \% \text{ dari berat agregat} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan :

P_{ab} = kadar aspal yang mengabsorpsi ke dalam pori butir agregat

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal

G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal

G_a = berat jenis aspal

7. Kadar Aspal Efektif Yang Menyelimuti Agregat (P_{ae})

Kadar aspal efektif mengacu pada jumlah aspal yang digunakan untuk melapisi permukaan agregat, yaitu total aspal dalam campuran beton aspal yang telah dikurangi dengan bagian yang terserap ke dalam pori-pori agregat.

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} P_s \% \dots\dots\dots(2.22)$$

Dengan :

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat
% terhadap massa beton aspal

P_a = kadar aspal terhadap massa beton aspal (%)

P_s = kadar agregat, % terhadap massa beton aspal

P_{ab} = kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat
% terhadap massa agregat

8. Berat Jenis *Bulk* Agregat Campuran (G_{sb})

Dalam pembuatan beton aspal, agregat yang digunakan memiliki gradasi tertentu yang biasanya dihasilkan dari kombinasi beberapa fraksi agregat. Setiap fraksi agregat memiliki nilai berat jenis yang bervariasi, sehingga diperlukan perhitungan berat jenis campuran agregat untuk menentukan massa beton aspal padat.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan :

P_1, P_2, \dots, P_n = persentase berat masing-masing fraksi agregat

G_1, G_2, \dots, G_n = berat jenis *bulk* dari masing masing fraksi agregat (fraksi 1 sampai dengan fraksi n)

9. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (G_{se})

Berat jenis efektif dari agregat campuran menggambarkan berat jenis tertinggi beton aspal saat masih dalam kondisi belum dipadatkan. Nilai G_{se} umumnya bersifat stabil untuk campuran agregat, karena hanya bergantung pada jumlah aspal yang terserap ke dalam pori-pori dari setiap butir agregat.

$$G_{se} = \frac{100 - P_a}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_a}{G_a}} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan :

- G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal
- G_{mm} = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan
- P_a = kadar aspal terhadap massa beton aspal (%)
- G_a = berat jenis aspal

2.14 Kadar Aspal Rencana Awal

Kadar aspal efektif merupakan total aspal yang berperan dalam menyelimuti permukaan agregat, mengisi ruang antar butiran agregat, dan memenuhi kebutuhan aspal yang terserap ke dalam pori-pori agregat. Hal ini disesuaikan dengan spesifikasi campuran untuk mencapai kadar aspal yang optimal. Perhitungan awal kadar aspal rencana dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% \text{ filler}) + K \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan :

- P_b = Kadar aspal perkiraan
- CA = Agregat kasar tertahan saringan No.8
- FA = Agregat halus lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200
- $Filler$ = Agregat gregat halus lolos saringan No.200
- K = Konstanta berkisar antara 0,5 hingga 1,0 pada jenis campuran AC dan HRS

Hasil kadar aspal dihitung dengan pembulatan ke kelipatan 0,5% terdekat. Sebagai contoh, jika hasil kadar aspal dari perhitungan adalah sebesar 6,3%, maka nilai kadar aspal akan dibulatkan menjadi 6,5%.

Untuk menentukan kadar aspal optimum, biasanya disiapkan 15 sampel uji dengan lima variasi kadar aspal yang memiliki selisih 0,5% di antara masing-masing kadar. Pemilihan kadar aspal dilakukan sedemikian rupa sehingga terdapat dua kadar aspal yang lebih rendah dari kadar aspal utama, dan dua kadar aspal yang lebih tinggi. Misalnya, jika kadar aspal tengah adalah a%, maka benda uji dibuat dengan kadar aspal (a-1) %, (a - 0,5) %, (a + 0,5) %, dan (a+1) %. Setiap variasi kadar aspal tersebut dibuatkan tiga sampel uji. Perhitungan kadar aspal serta persentase lolos ayakan untuk agregat didasarkan pada berat keseluruhan campuran

2.15 Pengujian Metode Marshall

Metode Marshall, yang pertama kali dikembangkan oleh Bruce Marshall, telah mengalami berbagai penyesuaian hingga akhirnya

distandarkan melalui ASTM D 1559-76 dan AASHTO T-245-90. Pendekatan ini berfokus pada pengujian stabilitas, kelelahan (flow), serta evaluasi kepadatan dan rongga dalam campuran padat yang dihasilkan.

Sampel pengujian beton padat dapat disusun dengan menggunakan gradasi agregat yang telah dirancang sesuai spesifikasi campuran yang ditetapkan. Tujuan dari metode Marshall adalah untuk mengidentifikasi karakteristik suatu perkerasan lentur.

Proses ini meliputi pengujian Marshall dan analisis parameter Marshall yang mencakup hal-hal berikut :

1. Uji Marshall

Pengujian Marshall bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat aspal terhadap kelelahan plastis (flow). Alat Marshall terdiri dari alat penekan yang dilengkapi dengan cincin pengukur (*proving ring*) berkapasitas 22,22 KN (500 lbs) serta *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, sedangkan *flowmeter* digunakan untuk menentukan tingkat kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall standar berbentuk silinder dengan diameter 4 inci (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm). Hasil pengujian mencerminkan karakteristik Marshall yang dipengaruhi oleh sifat-sifat campuran, yaitu : kepadatan rongga di antara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam campuran pada kepadatan mutlak, stabilitas, kelelahan, serta *Marshall Quotient* (MQ).

2. Parameter pengujian Marshall

a. Kepadatan rongga dalam agregat (VMA)

Rongga dalam campuran agregat merupakan ruang kosong yang terdapat di antara butiran-butiran agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan. Rongga ini mencakup aspal efektif dan dihitung sebagai persentase dari total volume campuran.

b. Rongga terisi aspal (VFA)

VFA merupakan persentase rongga yang ada di antara partikel agregat VMA yang diisi oleh aspal, dengan pengecualian aspal yang terserap ke dalam agregat.

c. Rongga dalam campuran (VIM)

Rongga dalam campuran dihitung sebagai persentase untuk menunjukkan jumlah ruang kosong yang terdapat di dalam campuran. Jumlah rongga udara yang terbentuk dipengaruhi oleh distribusi partikel agregat dalam campuran dan variasi bentuk agregat yang tidak seragam.

d. *Stabilitas Marshall*

Stabilitas merupakan kemampuan campuran aspal untuk mempertahankan bentuknya di bawah pengaruh beban tanpa mengalami deformasi permanen, seperti terjadinya alur gelombang atau *bleeding* dan biasanya dinyatakan dalam satuan kilogram. Jika nilai stabilitas terlalu tinggi, perkerasan dapat menjadi terlalu kaku, yang pada akhirnya dapat mengurangi daya tahan terhadap kerusakan.

e. Kelelahan (*flow*)

Sama halnya dengan penentuan nilai stabilitas, nilai *flow* diperoleh melalui pembacaan jarum dial (dalam milimeter) selama pengujian *Marshall* dilakukan. Campuran dengan *flow* rendah cenderung memiliki sifat kaku dan rentan terhadap retakan dini selama masa penggunaannya. Sebaliknya, nilai kelelahan yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki sifat plastis.

f. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai *flow* pada campuran aspal. Nilai MQ yang lebih besar menunjukkan bahwa campuran memiliki sifat yang lebih kaku, namun hal ini juga meningkatkan risiko kerusakan akibat beban yang diterima. Karakteristik Marshall ini dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

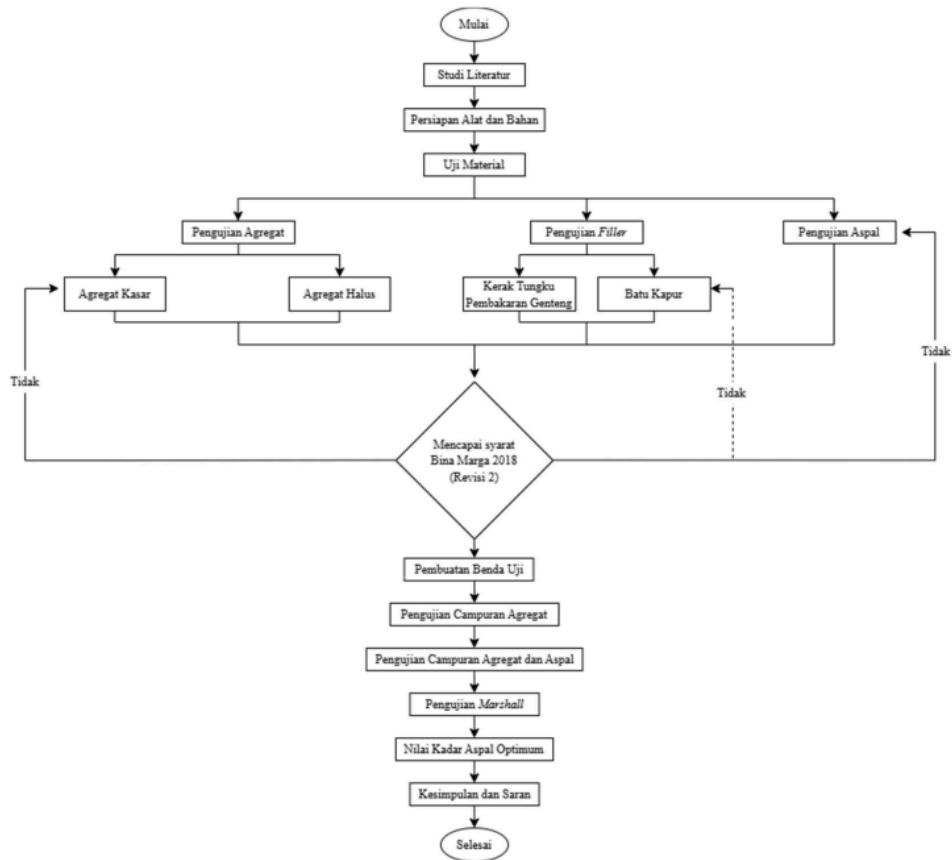
MS = *Marshall Stabilitas* (kg/mm)

MF = *Flow Marshall* (mm)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Alur Berfikir (*Flowchart*)

Diagram alir adalah representasi visual dari alur kerja yang menyajikan langkah-langkah penelitian secara sistematis, memungkinkan pelaksanaan penelitian dapat berjalan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Dalam konteks ini, diagram alir digunakan untuk menganalisis perbandingan campuran aspal beton lapis AC-WC dengan penambahan *filler* yang berasal dari kerak tungku pembakaran genteng.



Gambar 3. 1 Diagram Alir
(Sumber : Peneliti, 2025)

3.1.1 Diagram Pengujian Material

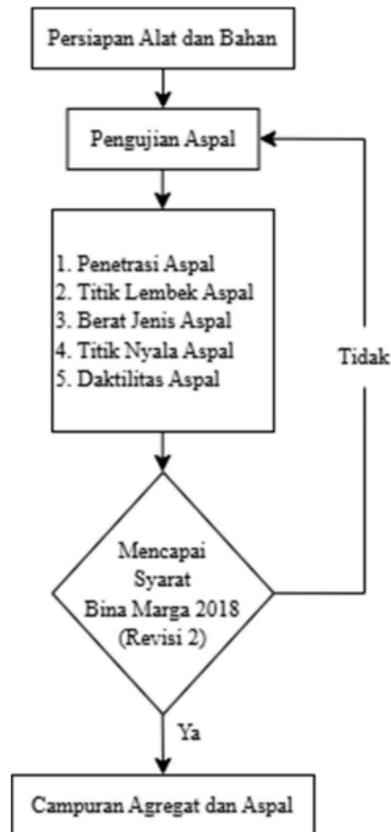
Diagram pengujian material berikut menggambarkan proses dan metode yang diterapkan untuk mengevaluasi sifat serta kelayakan material guna mendukung pelaksanaan penelitian.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengujian Material
(Sumber : Peneliti, 2025)

3.1.2 Diagram Pengujian Aspal

Diagram ini menunjukkan langkah-langkah dan pendekatan yang digunakan dalam pengujian aspal untuk menilai sifat serta kesesuaiannya dalam menunjang penelitian.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengujian Aspal
(Sumber : Peneliti, 2025)

3.2 Penjelasan Kerangka Alur (*Flowchart*)

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dalam penyusunan Tugas Akhir yang berperan penting sebagai acuan dan penunjang dalam menyelesaikan penelitian. Melalui studi literatur, penulis dapat memahami berbagai teori dasar yang relevan untuk mendukung proses pengerjaan Tugas Akhir, termasuk pengetahuan tentang

analisis karakteristik campuran aspal beton lapis AC-WC dengan penambahan *filler* dari limbah kerak tungku pembakaran genteng. Sumber-sumber studi literatur mencakup buku kuliah, jurnal ilmiah, peraturan-peraturan yang terkait, dan penunjang lainnya yang berhubungan dengan penyelesaian Tugas Akhir.

3.2.2 Pengujian Agregat

Dalam tahap pengujian agregat penelitian ini mencakup dua jenis pengujian, yaitu pengujian pada agregat kasar dan agregat halus. Setiap jenis pengujian dirancang untuk mengevaluasi karakteristik spesifik agregat yang memengaruhi kualitas dan performa campuran aspal beton. Berikut adalah penjelasan mengenai pengujian yang dilakukan :

1. Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar bertujuan untuk memastikan kualitas dan kesesuaiannya dengan spesifikasi yang diperlukan. Tahap pengujiannya meliputi :

- Uji Analisis Saringan Agregat Kasar (SNI ASTM C136:2012), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.8.1.
- Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI 1969:2016), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.8.2.
- Uji Keausan Agregat Kasar (SNI 2417:2008), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.8.3.
- Uji Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (SNI 2439:2011), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.8.4.

2. Agregat Halus (dijelaskan lebih rinci pada subbab 3.3.6)

Pengujian terhadap agregat halus dilakukan untuk menilai kualitas dan karakteristiknya dalam campuran aspal. Tahap pengujiannya meliputi:

- Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (SNI ASTM C136:2012), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.8.1.
- Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI 1970:2016), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.8.2.
- Pengujian *Sand Equivalent* (SNI-03-4428-1997), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.8.5.

3.2.3 Pengujian *Filler*

Pada penelitian ini, pengujian *filler* terdiri atas dua jenis utama, yaitu analisis saringan dan pengujian berat jenis. Analisis saringan bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran partikel *filler* yang mengacu pada standar SNI ASTM C136:2012. Pengujian berat jenis bertujuan untuk mengukur kepadatan *filler* yang memengaruhi stabilitas dan daya tahan campuran aspal. Kedua

pengujian ini juga memiliki syarat khusus yang sesuai dengan Direktorat Jendral Bina Marga Tahun 2018 (Rev.2), yaitu material *filler* harus lolos saringan No.200.

3.2.4 Pengujian Aspal

Pada tahap ini, dilakukan serangkaian pengujian untuk menilai sifat fisik dan mekanis aspal guna memastikan material tersebut memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan. Berikut adalah rincian pengujian aspal yang dilakukan :

- Pengujian Penetrasi Aspal (SNI 2456:2011), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.11.1.
- Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal (SNI 2433:2011), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.11.2.
- Pengujian Titik Lembek Aspal (SNI 2434:2011), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.11.3.
- Pengujian Berat Jenis Aspal (SNI 2441:2011) , pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.11.4.
- Pengujian Daktilitas Aspal (SNI 2432:2011), pada penelitian ini penjelasan tersebut ada pada subbab 2.11.5.

3.2.5 Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat sesuai dengan ukuran standar ASTM D6926-20, yaitu memiliki diameter 4 inci (101 mm) dan tinggi 2,5 inci (63,5 mm). Campuran aspal yang telah dipanaskan kemudian dituangkan ke dalam cetakan berbentuk silinder dan dipadatkan menggunakan alat pemadat dengan melakukan 75 tumbukan pada setiap sisi. Proses pemadatan ini bertujuan untuk memastikan distribusi kepadatan yang merata, sebagaimana diatur dalam (ASTM D6926-20, 2020). Metode ini dirancang untuk meniru kondisi pemadatan di lapangan sehingga benda uji dapat merepresentasikan kinerja campuran aspal dalam situasi sebenarnya.

Setelah proses pemadatan selesai, benda uji dibiarkan mendingin sebelum dilepaskan dari cetakan. Guna menjamin keakuratan serta reliabilitas data pengujian, setiap variasi campuran aspal dibuat dalam jumlah minimal 3 benda uji. Jumlah tersebut memungkinkan analisis lebih akurat serta mengurangi potensi kesalahan yang dapat terjadi selama proses pengujian (ASTM-D6927-05, 2018).

3.2.6 Pengujian Campuran Agregat dan Aspal

Dalam penelitian ini, pengujian campuran agregat dan aspal guna memperoleh komposisi yang memenuhi persyaratan teknis serta standar kualitas perkerasan jalan. Acuan yang digunakan dalam evaluasi ini adalah Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

3.2.7 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh nilai stabilitas dan flow pada campuran aspal. Stabilitas mengidentifikasi sejauh mana campuran mampu menahan beban tanpa mengalami kerusakan, sementara flow merepresentasikan Tingkat deformasi sebelum mencapai titik kegagalan. Hasil pengujian ini digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum guna memastikan campuran yang dihasilkan memiliki kekuatan, fleksibilitas, dan ketahanan yang sesuai dengan standar.

3.2.8 Nilai Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum merujuk pada takaran aspal dalam campuran yang ditentukan berdasarkan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas. Nilai ini mempresentasikan jumlah aspal yang dibutuhkan untuk memenuhi parameter Stabilitas, Flow, VMA, VIM, VFA dan Marshall Quotient. Penetapan kadar aspal optimum bertujuan untuk menentukan proporsi aspal yang ideal sehingga campuran dapat berfungsi secara efektif.

3.2.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan adalah bagian akhir dari sebuah penelitian yang merangkum temuan utama yang dihasilkan sepanjang proses penelitian. Selain itu, kesimpulan juga menyajikan poin-poin inti dari hasil penelitian yang telah dicapai serta memberikan referensi sebagai acuan untuk penelitian berikutnya, dengan tujuan memperbaiki atau mengembangkan topik yang telah diteliti.





3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam proses pengujian, Langkah pertama yang harus dilakukan adalah mempersiapkan peralatan dan bahan pendukung yang akan digunakan. Tahapan ini sangat penting untuk memastikan setiap proses pengujian dapat berjalan dengan lancar dan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Persiapan ini mencakup peralatan utama, material uji, serta perlengkapan tambahan yang dibutuhkan untuk mendukung keberhasilan pengujian. Dengan persiapan yang optimal, hasil pengujian diharapkan dapat memberikan data yang akurat dan relevan dengan tujuan penelitian.

1. Alat dan Bahan Analisa Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan pada agregat bertujuan untuk menentukan distribusi ukuran partikel agregat, sehingga dapat memastikan bahwa campuran memiliki gradasi yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Alat dan bahan yang digunakan untuk pengujian analisa saringan dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Pengujian Analisa Saringan
Alat dan Bahan






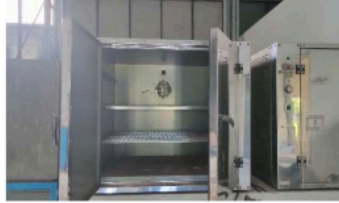
	
<p>Timbangan berkapasitas 1 kg dengan tingkat ketelitian hingga 0,1 gram</p>	<p>Satu set saringan (pan; 0,075; 0,15; 0,3; 0,6; 1,18; 2,36; 4,75; 9,5; 12,5; 19; dan 25,4)</p>
	
<p>Oven yang dilengkapi pengatur suhu, mampu memanaskan hingga mencapai suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$</p>	<p>Alat penggetar saringan</p>
	
<p>Sikat saringan</p>	<p>Nampan/wadah</p>
	
<p>Agregat</p>	<p>Lap Kain</p>

(Sumber : Peneliti, 2025)

2. Alat dan Bahan Berat Jenis Penyerapan Agregat Halus

Untuk menentukan rasio antara massa agregat dan volumenya dibandingkan dengan massa air dalam volume yang sama pada suhu yang telah ditentukan. Daftar alat dan bahan yang diperlukan tercantum dalam tabel 3. 2 di bawah ini :

1 Tabel 3. 2 Alat dan Bahan Berat Jenis Agregat Halus

Alat dan Bahan	
	
Nampan	Ayakan dengan ukuran mesh No.4
	
Kerucut (cone) diameter atas (40 ± 3) mm, bawah (75 ± 3) mm, dan batang penumbuk	Piknometer dengan kapasitas 1000 ml
	
Agregat halus	Oven yang dilengkapi pengatur suhu, mampu memanaskan hingga mencapai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$

(Sumber : Peneliti, 2025)

1 Tabel 3. 2 Alat dan Bahan Berat Jenis Agregat Halus (Lanjutan)

Alat dan Bahan	
	
Sikat saringan	Timbangan berkapasitas 1 kg dengan tingkat ketelitian hingga 0,1 gram

(Sumber : Peneliti, 2025)

3. Alat dan Bahan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Untuk mengetahui rasio antara berat agregat dan volumenya dengan berat air pada volume yang sama. Rincian alat dan bahan yang diperlukan tercantum dalam tabel 3. 3 di bawah ini :

1 Tabel 3. 3 Alat dan Bahan Berat Jenis Agregat Kasar

Alat dan Bahan	
	
Keranjang kawat kurang lebih berkapasitas 5000 gram	Oven yang dilengkapi pengatur suhu, mampu memanaskan hingga mencapai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
	
Agregat Kasar	Timbangan kapasitas 30 + penggantung kawat

(Sumber : Peneliti, 2025)

1
Tabel 3. 3 Alat dan Bahan Berat Jenis Agregat Kasar (Lanjutan)


Alat dan Bahan	
	
Kain lap	Saringan No.12
	
Piknometer dengan kapasitas 1000 ml	

(Sumber : Peneliti, 2025)

4. Alat dan Bahan Pengujian Keausan Agregat



Untuk mengukur sejauh mana agregat mampu mempertahankan kualitasnya terhadap kerusakan akibat proses mekanis maupun kimiawi. Rincian alat dan bahan yang diperlukan disajikan dalam tabel 3. 4 di bawah ini:

Tabel 3. 4 Alat dan Bahan Pengujian Keausan Agregat

Alat dan Bahan	
	
Alat Los Angeles Abrasion	Agregat kasar
	
Ayakan dengan ukuran mulai dari 37,5 mm (1½") hingga 2,38 mm (No.8)	Bola-bola baja

(Sumber : Peneliti, 2025)

1 Tabel 3. 4 Alat dan Bahan Pengujian Keausan Agregat (Lanjutan)



Alat dan Bahan	
	
Oven yang dilengkapi pengatur suhu, mampu memanaskan hingga mencapai suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$	Timbangan berkapasitas 1 kg dengan tingkat ketelitian hingga 0,1 gram

(Sumber : Peneliti, 2025)

5. Alat dan Bahan Pengujian Kelekatan Agregat

Pengujian ini dilakukan untuk menilai seberapa kuat daya rekat agregat yang dipengaruhi oleh karakteristiknya ketika terpapar air. Daftar alat dan bahan yang diperlukan tercantum dalam tabel 3. 5 di bawah ini :

1 Tabel 3. 5 Alat dan Bahan Pengujian Kelekatan Agregat

Alat dan Bahan	
	
Oven yang dilengkapi pengatur suhu, mampu memanaskan hingga mencapai suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$	Agregat yang lolos dari ayakan ukuran 3/8"
	
Aspal	Nampan

(Sumber : Peneliti, 2025)

1
Tabel 3. 5 Alat dan Bahan Pengujian Kelekatatan Agregat (Lanjutan)







Alat dan Bahan	
	
Ayakan ukuran 3/8" dan No.14	Timbangan berkapasitas 5000 gram

(Sumber : Peneliti, 2025)

6. Alat dan Bahan Penetrasi Aspal

Pengujian ini untuk mengukur tingkat kekerasan atau kelembekan aspal pada suhu tertentu dengan cara memasukkan jarum ke dalam aspal. Peralatan dan bahan yang diperlukan tercantum dalam tabel 3. 6 berikut :

Tabel 3. 6 Alat dan Bahan Pengujian Penetrasi Aspal







Alat dan Bahan	
	
Termometer	Peralatan untuk uji penetrasi
	
Timbangan berkapasitas 5000 gram	Aspal
	
Bak perendam	Wadah berisi air untuk benda uji

(Sumber : Peneliti, 2025)

7. Alat dan Bahan Berat Jenis Aspal Keras

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan densitas atau massa jenis dari aspal keras tersebut. Daftar alat dan bahan yang diperlukan tercantum dalam tabel 3. 7 berikut :

1 Tabel 3. 7 Alat dan Bahan Berat Jenis Aspal Keras




Alat dan Bahan	
	
Aspal	Gelas beaker
	
Piknometer	Timbangan berkapasitas 5000 gram
	
Nampan	Bak perendam

(Sumber : Peneliti, 2025)

8. Alat dan Bahan Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian titik nyala bertujuan untuk mengukur suhu ketika aspal dapat mengeluarkan uap yang mudah terbakar dalam kondisi terkontrol, memberikan informasi yang berguna di lapangan. Sedangkan pengujian titik bakar digunakan untuk mengetahui suhu saat aspal mulai terbakar dalam kondisi terkontrol. Daftar alat dan bahan yang digunakan tercantum dalam tabel 3. 8 berikut :

1 Tabel 3. 8 Alat dan Bahan Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar


Alat dan Bahan	
	
Aspal	Nyala api pengujian
	
Cawan kuningan	Termometer

(Sumber : Peneliti, 2025)

9. Alat dan Bahan Pengujian Titik Lembek Aspal

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur suhu saat aspal mulai mencapai pelat dasar di bawah cincin, dengan kondisi bola baja yang diberikan beban sehingga aspal turun dalam cincin. Daftar **1** alat dan bahan yang digunakan tercantum dalam tabel 3. 9 berikut :

1 Tabel 3. 9 Alat dan Bahan Pengujian Titik Lembek Aspal

Alat dan Bahan	
	
Gelas beaker	Dudukan benda uji lengkap plat

(Sumber : Peneliti, 2025)

1 Tabel 3. 9 Alat dan Bahan Pengujian Titik Lembek Aspal (Lanjutan)

Alat dan Bahan	
	
Alat pengarah bola	Bola Baja, ber diameter 9,53 mm

(Sumber : Peneliti, 2025)

3.3.1 Pengujian Agregat Kasar

Karakteristik campuran material pada beton aspal berperan penting dalam menentukan kekuatan dan daya tahan perkerasan jalan terhadap beban kendaraan dan pengaruh perubahan cuaca. Karena itu, diperlukan evaluasi yang teliti sebelum material tersebut dianggap memenuhi syarat untuk digunakan sebagai komponen perkerasan jalan. Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian untuk menilai kualitas agregat kasar :

3.3.1.1 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Berdasarkan standar SNI ASTM C136:2012, prosedur pengujian analisis saringan dilakukan dengan Langkah-langkah berikut :

1. Peneliti menakar agregat berdasarkan ukuran nominal maksimum bukaan saringan yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, sebagaimana tercantum dalam tabel 3. 10.
2. Peneliti memastikan agregat berada dalam kondisi kering oven atau telah mencapai massa tetap (berat agregat tidak mengalami perubahan selama 3 kali proses penimbangan).
3. Peneliti menyusun saringan sesuai urutan nomor dari ukuran terbesar hingga terkecil, yaitu : 1", ¾", ½", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan.
4. Peneliti menimbang agregat kasar yang tertahan di setiap saringan sesuai urutan yang telah disusun.
5. Peneliti menghitung persentase distribusi agregat menggunakan perangkat lunak, seperti Microsoft Excel.

1
Tabel 3. 10 Massa minimum contoh uji agregat kasar

Ukuran nominal maksimum Bukaan saringan		Massa minimum contoh uji	
mm	inci	kg	lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19,0	3/4	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1½	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2½	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3½	100	220
100,0	4	150	330
125,0	5	300	660

(Sumber : SNI ASTM C136:2012)

3.3.1.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Berdasarkan standar SNI 1969:2016, pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

1. Peneliti menakar agregat kasar sebanyak 2000 gram.
2. Peneliti membersihkan sampel dengan cara dicuci, kemudian mengeringkannya dalam oven pada suhu 110°C hingga mencapai massa tetap. Setelah itu, peneliti menimbang agregat dengan ketelitian hingga 0,01 gram.
3. Peneliti merendam agregat yang sudah memiliki massa tetap ke dalam air bersuhu ruang selama 24 ± 4 jam. Setelah proses perendaman selesai, peneliti mengeluarkan agregat dari air, kemudian bersihkan permukaannya menggunakan kain bersih hingga tidak ada lagi sisa air pada permukaan agregat.
4. Peneliti menimbang agregat untuk memperoleh nilai massa kering jenuh permukaan (*Saturated Surface-Dry/SSD*)

3.3.1.3 Pengujian Keausan Agregat Kasar

Berpedoman pada SNI 2417:2008, prosedur pengujian keausan agregat dilakukan dengan Langkah-langkah berikut :

1. Peneliti menyiapkan agregat kasar sesuai dengan jumlah yang telah ditetapkan dalam ketentuan, sebagaimana tercantum dalam tabel 3. 11 berikut.

2
Tabel 3. 11 Daftar Gradasi dan Massa Benda Uji

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)						
Lolos saringan		Tertahan saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	inci	mm	inci							
75	3,0	63	2 1/2	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	2 1/2	50	2,0	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
50	2,0	37,5	1 1/2	-	-	-	-	5000 ± 50	5000 ± 50	-
37,5	1 1/2	25	1	1250± 25	-	-	-	-	5000 ± 25	5000 ± 25
25	1	19	3/4	1250±25	-	-	-	-	-	5000 ± 25
19	3/4	12,5	1/2	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	3/8	6,3	¼	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,3	1/4	4,75	No.4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
4,75	No. 4	2,36	No. 8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat bola (gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25

(Sumber : SNI 2417:2008)

2. Peneliti membersihkan agregat dengan mencucinya hingga bersih, kemudian mengeringkannya dalam oven hingga beratnya stabil.
3. Setelah berat stabil tercapai, peneliti menimbang agregat sesuai dengan jumlah yang tercantum dalam tabel. Pisahkan benda uji berdasarkan ukuran masing-masing, lalu peneliti memasukkan agregat beserta bola baja dengan jumlah yang sesuai ke dalam mesin Los Angeles. Putar mesin selama 15 menit atau sebanyak 500 putaran.
4. Setelah proses pemutaran selesai, peneliti mengeluarkan agregat dari mesin, saring menggunakan saringan No.12, kemudian timbang berat agregat yang tertahan di atas saringan tersebut.
5. Peneliti mengeringkan agregat ke dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga mencapai berat tetap, kemudian timbang untuk pengujian terakhir.

3.3.1.4 ¹ Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Berdasarkan SNI 2439:2011, berikut adalah langkah-langkah pengujian untuk menilai kelekatan agregat terhadap aspal :

1. Peneliti menyiapkan semua peralatan dan bahan yang diperlukan untuk melakukan pengujian.
2. Peneliti memasukkan 100 gram agregat kasar ke dalam wadah beserta pengaduk.
3. Peneliti memanaskan wadah yang berisi agregat kasar dan pengaduk ke dalam oven selama 1 jam pada suhu $(140 \pm 5^\circ\text{C})$.
4. Peneliti memanaskan aspal secara terpisah hingga menjadi cair.
5. Peneliti menambahkan aspal panas sebesar $5,5 \pm 0,2$ gram ke dalam wadah berisi agregat.

6. Peneliti mencampurkan agregat kasar dengan aspal cair hingga merata, lakukan pengadukan selama 2-3 menit sampai seluruh permukaan agregat tertutup oleh lapisan aspal. Setelah itu, peneliti membiarkan campuran mendingin hingga mencapai suhu ruang.
7. Peneliti memindahkan agregat yang telah dilapisi aspal ke dalam gelas ukur berkapasitas 1000 ml, kemudian peneliti menambahkan 400 ml air suling ke dalam gelas tersebut.
8. Peneliti mendinginkan campuran yang berada dalam gelas ukur pada suhu ruang selama 16-18 menit tanpa mengalami gangguan.
9. Peneliti mengangkat lapisan aspal yang mengapung di atas air dengan hati-hati tanpa mengganggu posisi agregat yang ada di bawahnya.
10. Peneliti memperkirakan estimasi persentase area permukaan agregat yang masih tertutup oleh lapisan aspal.

3.3.2 Pengujian Agregat Halus

Berikut ini merupakan tahapan pengujian agregat halus yang dirancang untuk memastikan material tersebut sesuai dengan spesifikasi yang dipersyaratkan dalam konstruksi perkerasan jalan.

3.3.2.1 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Berdasarkan peraturan SNI ASTM C136:2012, berikut merupakan prosedur pengujian analisis saringan untuk agregat halus :

1. Peneliti menyiapkan agregat halus yang telah dikeringkan hingga mencapai berat stabil, dengan jumlah minimal 300 gram.
2. Peneliti menyusun saringan berdasarkan urutan ukuran, dimulai dari yang terbesar hingga terkecil : No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan.
3. Peneliti memasukkan agregat halus dengan berat minimal 300 gram ke dalam susunan saringan, kemudian menjalankan proses pengayakan menggunakan mesin penggetar selama 15 menit.
4. Peneliti menimbang agregat halus yang tertahan pada setiap saringan.
5. Peneliti menghitung persentase agregat menggunakan perangkat lunak seperti Excel.

3.3.2.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berdasarkan peraturan SNI 1970:2016, berikut merupakan prosedur pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus :

1. Peneliti mengeringkan agregat menggunakan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya stabil.

2. Peneliti mendinginkan agregat hingga mencapai suhu ruang, setelah itu rendam dalam air selama 24 jam.
3. Setelah perendaman, peneliti membuang air dengan hati-hati tanpa kehilangan butiran agregat, kemudian tiriskan agregat di atas nampan.
4. Peneliti mengeringkan agregat di udara panas sambil dibolak-balik hingga mencapai kondisi kering permukaan jenuh.
5. Peneliti memeriksa kondisi kering permukaan jenuh dengan mengisi benda uji ke dalam kerucut, padatkan menggunakan penumbuk sebanyak 25 kali, kemudian angkat kerucut. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai apabila benda uji runtuh tetapi tetap mempertahankan bentuk cetakan. Pengeringan benda uji dihentikan ketika agregat telah mencapai kondisi kering permukaan jenuh.
6. Peneliti memasukkan benda uji yang telah mencapai kondisi kering permukaan jenuh ke dalam piknometer.
7. Peneliti menambahkan air suling ke dalam piknometer hingga terisi sekitar 90% kapasitasnya, putar dan guncang hingga tidak ada gelembung udara yang terlihat di dalamnya.
8. Peneliti merendam piknometer ke dalam air dan sesuaikan suhu air menjadi 25°C sebagai suhu standar.
9. Peneliti menambahkan air ke dalam piknometer hingga mencapai tanda pembatas piknometer.
10. Peneliti menimbang piknometer yang berisi air dan benda uji.
11. Peneliti mengeluarkan benda uji dari piknometer, kemudian mengeringkannya menggunakan oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga beratnya stabil, lalu dinginkan.
12. Peneliti menimbang benda uji yang telah dikeringkan dalam oven (Bk) lalu dan diukur berat piknometer yang terisi penuh dengan air (B).

3.3.2.3 Pengujian Sand Equivalent

Mengacu pada SNI 03-4428-1997, berikut langkah-langkah pengujian sand equivalent :

1. Peneliti mengambil sampel benda uji sebanyak 85 ml, lalu mengeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ hingga beratnya stabil. Setelah itu, peneliti membiarkan sampel dingin hingga mencapai suhu ruang.
2. Peneliti mengatur tinggi tangkai penunjuk beban ke dalam gelas ukur dalam keadaan kering dan catat pembacaan skalanya.
3. Peneliti mengisi tabung plastik dengan larutan kerja hingga mencapai tanda skala 5.

4. Peneliti memasukkan sampel kering yang telah lolos saringan No.4 (4,76 mm) ke dalam tabung plastik, kemudian ketuk perlahan untuk meratakan isinya. Biarkan sampel diam selama 10 menit.
5. Peneliti menutup tabung dengan penutup karet atau gabus, miringkan hingga material hampir mengendap, dan kocok menggunakan alat pengocok agar tercampur sempurna.
6. Peneliti menambahkan larutan kerja melalui pipa mengalir dari bagian bawah pasir hingga ke atas. Proses ini akan mendorong lumpur naik ke permukaan pasir. Lanjutkan hingga larutan mencapai tanda skala 15, lalu diamkan selama (20 menit \pm 15 detik).
7. Peneliti membaca dan mencatat skala ketinggian permukaan lumpur atau koloid (A) hingga satu angka desimal.
8. Peneliti memasukkan beban secara perlahan hingga menyentuh permukaan lapisan pasir. Bacalah skala ketinggian pasir (B) yang terlihat pada alat pembaca, lalu kurangi dengan tinggi tangkai penunjuk (biasanya 10 skala). Catat hasilnya hingga satu angka desimal.

3.3.3 Pengujian Filler

Berikut adalah tahapan pengujian material agregat halus pada perkerasan untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar yang ditetapkan :

1. Pengujian Analisa Saringan

Prosedur standar SNI ASTM C136:2012, dengan tahapan sebagai berikut :

1. Peneliti menimbang 500 gram agregat halus yang akan diuji.
2. Peneliti memastikan agregat berada dalam keadaan kering oven atau telah mencapai berat stabil, ditandai dengan tidak adanya perubahan massa setelah dilakukan penimbangan sebanyak 3 kali.
3. Peneliti menata susunan saringan berdasarkan urutan ukuran, dimulai dari sisi yang terbesar hingga terkecil : No.4; No.8; No.16; No.30; No.50; No.100; No.200 dan pan.
4. Peneliti melakukan proses pengayakan *filler* (agregat halus) seberat 500 gram dengan menggunakan mesin penggetar selama 15 menit.
5. Peneliti menimbang agregat halus yang tertahan di setiap saringan sesuai dengan urutan nomor.
6. Peneliti menghitung persentase distribusi serta nilai modulus kehalusan butiran agregat dengan metode yang berlaku. Pastikan

fraksi agregat yang melewati saringan NO.200 mencapai minimal 75% dari total beratnya.

2. Pengujian Berat Jenis

Berikut adalah Langkah-langkah pengujian berat jenis *filler* :

1. Peneliti menimbang berat piknometer dalam kondisi kosong bersama dengan tutupnya.
2. Peneliti memasukkan *filler* yang telah disaring menggunakan ayakan No.200 ke dalam piknometer hingga sekitar $\frac{1}{4}$ kapasitasnya, kemudian tutup piknometer dan timbang kembali.
3. Peneliti mengisi piknometer yang sudah terisi *filler* dengan air hingga penuh, kemudian tutup rapat dan pastikan kelebihan air keluar melalui lubang di tutupnya.
4. Peneliti menimbang piknometer yang berisi campuran air dan *filler*.
5. Peneliti membersihkan piknometer hingga bebas dari sisa *filler* atau air.
6. Peneliti mengisi piknometer sepenuhnya dengan air bersih, kemudian tutup dengan rapat hingga kelebihan air mengalir keluar melalui ujung tutup untuk memastikan tidak ada udara yang terperangkap. Setelah itu, peneliti melakukan penimbangan terhadap piknometer yang telah terisi air.

3.3.4 Pengujian Aspal

Berikut adalah prosedur pengujian aspal modifikasi yang dirancang untuk memastikan bahwa bahan ini sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan dalam proses pembuatan perkerasan jalan.

3.3.4.1 Pengujian Penetrasi Aspal

Berdasarkan standar SNI 2456:2011, berikut merupakan prosedur yang diterapkan dalam melakukan pengujian penetrasi pada aspal :

1. Peneliti meletakkan sampel uji ke dalam wadah air yang kecil, lalu masukkan wadah tersebut ke dalam bak perendam yang sudah berada pada suhu yang ditentukan. Diamkan bak tersebut selama 1 hingga 1,5 jam untuk benda uji kecil, dan 1,5 hingga 2 jam untuk benda uji besar.
2. Peneliti memastikan jarum penetrasi sudah terpasang dengan benar, kemudian peneliti membersihkan jarum menggunakan toluene atau pelarut lain, lalu keringkan dengan kain bersih. Pasang jarum pada dudukan jarumnya.
3. Peneliti meletakkan beban 50 gram di atas jarum untuk menghasilkan beban mencapai $(100 \pm 0,1)$ gram.

4. Peneliti memindahkan wadah air dari bak perendam dan meletakkan di bawah alat penetrasi.
5. Peneliti menurunkan jarum secara perlahan hingga menyentuh permukaan sampel uji. Atur angka nol pada penetrometer agar sejajar dengan jarum penunjuk.
6. Peneliti melepaskan pemegang jarum dan kemudian secara bersamaan jalankan stopwatch selama $(5 \pm 0,1)$ detik.
7. Setelah itu, peneliti membaca hasil penetrasi pada penetrometer, sejajarkan dengan posisi jarum penunjuk. Kemudian bulatkan hasil pembacaan ke angkut 0,1 mm terdekat.
8. Peneliti melepaskan jarum dari dudukan dan menyiapkan alat penetrasi untuk pengujian berikutnya.
9. Peneliti mengulangi prosedur 1 hingga 7 setidaknya tiga kali pada sampel yang sama. Pastikan setiap titik pengukuran berjarak lebih dari 1 cm dari tepi wadah atau dinding sampel.

3.3.4.2 Pengujian Titik Lembek Aspal

Berdasarkan standar SNI 2434:2011, berikut merupakan langkah-langkah tata cara yang digunakan untuk menguji titik lembek aspal :

1. Peneliti memasang kedua sampel pada dudukan, letakkan pengarah bola di atas masing-masing sampel, lalu masukkan seluruh komponen ke dalam gelas bejana.
2. Peneliti mengisi bejana dengan air suling bersuhu awal $(5 \pm 1)^{\circ}\text{C}$, sehingga ketinggian air mencapai 101,6 hingga 108 mm.
3. Peneliti meletakkan termometer khusus untuk pengujian ini di antara sampel dengan jarak sekitar 12,7 mm dari masing-masing cincin.
4. Peneliti memeriksa dan mengatur ketinggian antara permukaan dasar sampel hingga mencapai 25,4 mm.
5. Peneliti meletakkan bola baja yang telah didinginkan pada suhu 5°C di bagian tengah permukaan masing-masing sampel uji juga bersuhu 5°C . Kemudian peneliti menggunakan penjepit untuk memasang kembali pengarah bola dengan hati-hati.
6. Peneliti memanaskan bejana hingga mengalami kenaikan suhu menjadi 5°C per menit sebagai kecepatan pemanasan rata-rata dari awal hingga akhir pekerjaan ini. Pastikan bahwa selama 3 menit pertama, perbedaan kecepatan pemanasan tidak melebihi $0,5^{\circ}\text{C}$.

3.3.4.3 Pengujian Titik Nyala

Berdasarkan standar SNI 2433:2011, berikut merupakan langkah-langkah pengujian titik nyala aspal :

1. Peneliti menempatkan cawan pada posisi yang tepat sehingga nyala pemanas berada langsung di bawah titik tengah cawan.
2. Peneliti mengatur posisi nyala penguji hingga porosnya berjarak 7,5 cm dari pusat cawan.
3. Peneliti memasang termometer, lalu mengatur pemanasan suhu kompor agar naik sebesar 15°C per menit hingga mencapai 56°C di bawah perkiraan titik nyala, untuk selanjutnya kenaikan suhu menjadi 5°C hingga 6°C per menit.
4. Peneliti meletakkan penahan angin di depan nyala penguji untuk mengurangi gangguan angin.
5. Peneliti memanaskan benda uji dengan kenaikan suhu $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$ per menit sampai mencapai 56°C di bawah titik nyala yang diperkirakan.
6. Selanjutnya, peneliti mengatur laju pemanasan menjadi 5°C hingga 6°C per menit saat suhu benda uji berada dalam rentang 56°C dan 28°C di bawah perkiraan titik nyala.
7. Peneliti menyalakan nyala penguji dan mengatur diameternya agar berada di kisaran 3,2 hingga 4,8 mm.
8. Peneliti memutar nyala penguji agar melintasi permukaan cawan dari satu sisi ke sisi lain dalam waktu satu detik. Ulangi langkah ini setiap kenaikan suhu sebesar 2°C.
9. Kemudian peneliti mengulangi langkah 6 hingga 8 sampai terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan benda uji. Bacalah dan catat suhu yang tertera pada termometer.
10. Peneliti melanjutkan pengujian hingga nyala bertahan setidaknya selama 5 detik di atas permukaan sampel, kemudian mencatat suhu pada termometer sebagai hasil akhir.

3.3.4.4 **Pengujian Berat Jenis Aspal**

Berdasarkan pedoman SNI 2441:2011, berikut adalah langkah-langkah pengujian berat jenis aspal :

1. Peneliti mengisi bejana dengan air suling hingga bagian atas piknometer terendam sekitar 40 mm. Kemudian menjepit bejana dalam bak perendam sehingga kedalaman rendaman mencapai minimal 100 mm, lalu mengatur suhu bak perendam pada 25°C.
2. Peneliti memastikan piknometer bersih dan kering, lalu timbang dengan ketelitian 1 mg (A).
3. Peneliti mengangkat bejana dari bak perendam, kemudian mengisi piknometer dengan air suling, lalu menutupnya tanpa menekan tutupnya.

4. Peneliti menempatkan piknometer ke dalam bejana, tekan penutupnya hingga rapat, lalu kembalikan bejana ke dalam bak perendam. Biarkan selama setidaknya 30 menit. Setelah itu, angkat piknometer, lap hingga kering, dan timbang dengan ketelitian 1 mg (B).
5. Peneliti menuangkan benda uji tersebut ke dalam piknometer yang sudah kering hingga terisi sebagian.
6. Peneliti mendinginkan piknometer hingga dingin, pastikan waktu pendinginan tidak lebih dari 40 menit, lalu timbang bersama penutupnya dengan ketelitian 1 mg (C).
7. Peneliti menambahkan air suling ke dalam piknometer yang sudah berisi benda uji, lalu pasang penutup tanpa ditekan. Diamkan hingga semua gelembung udara keluar.
8. Peneliti mengangkat bejana dari bak perendam, masukkan kembali piknometer ke dalam bejana, tekan penutup hingga rapat, dan kembalikan bejana ke dalam bak perendam. Biarkan selama minimal 30 menit, lalu angkat piknometer, dan keringkan (D).

3.3.4.5 Pengujian Daktilitas

Berdasarkan standar SNI 2432:2011, berikut adalah Langkah-langkah tata cara pengujian daktilitas aspal :

1. Peneliti mengoleskan campuran gliserin dan talk atau kaolin (dengan perbandingan 3 gram gliserin dan 5 gram talk) ke seluruh permukaan pelat dasar serta bagian cetakan yang akan dilepas, untuk mencegah benda uji menempel pada cetakan daktilitas.
2. Peneliti meletakkan cetakan daktilitas di atas pelat dasar pada permukaan yang rata dan stabil, memastikan bahwa seluruh bagian bawah cetakan melekat erat dengan pelat dasar tanpa celah.
3. Peneliti memanaskan sampel aspal dengan berat sekitar 150 gram sambil terus diaduk untuk mencegah pemanasan berlebih pada satu titik, hingga cukup cair untuk dituangkan.
4. Peneliti menyaring sampel menggunakan saringan No.50.
5. Peneliti menuangkan sampel secara perlahan ke dalam cetakan dari ujung ke ujung hingga sedikit meluap di atas cetakan.
6. Peneliti mendinginkan cetakan pada suhu ruang kurang lebih selama 30 hingga 40 menit.
7. Peneliti merendam cetakan yang berisi sampel ke dalam bak perendam dengan temperature pengujian selama 30 menit.
8. Peneliti menggunakan pisau atau spatula yang telah dipanaskan untuk meratakan permukaan sampel hingga sejajar dengan cetakan.

9. Peneliti memasukkan sampel uji, yang terdiri dari pelat dasar dan cetakan daktilitas berisi aspal, ke dalam bak perendam dengan suhu 25°C, lalu membiarkannya selama 85 hingga 95 menit.
10. Peneliti melepaskan sampel uji dari pelat dasar pada sisi cetakannya, kemudian pasang sampel ke mesin pengujian dengan memasukkan lubang cetakan ke penahan mesin.
11. Peneliti menjalankan mesin pengujian untuk menarik sampel dengan kecepatan standar sebesar 50 mm per menit. Toleransi kecepatan hingga $\pm 2,5$ mm per menit masih diperbolehkan.
12. Peneliti membaca panjang pemuluran sampel hingga putus dalam satuan mm(cm).

3.3.5 Campuran Agregat

Proses pencampuran agregat, atau dikenal juga sebagai *blending agregat*, merupakan metode teknis yang dirancang untuk memastikan distribusi ukuran partikel agregat memenuhi kriteria yang ditetapkan. Proses ini bertujuan untuk mencapai gradasi agregat yang ideal, di mana berbagai ukuran fraksi agregat dicampur secara terukur agar menghasilkan karakteristik mekanis yang menunjang performa material, seperti kekuatan, daya tahan, dan stabilitas.

Untuk mendapatkan gradasi yang sesuai standar, setiap fraksi agregat terlebih dahulu melalui uji analisis saringan. Setelah dipastikan bahwa material memenuhi spesifikasi mutu, langkah berikutnya adalah menentukan rasio campuran dari setiap fraksi agregat. Salah satu pendekatan yang sering digunakan adalah metode *Trial and Error*. Melalui metode ini, berbagai kombinasi proporsi fraksi diuji secara berulang hingga ditemukan komposisi yang sesuai dengan batas gradasi yang diinginkan, yang biasa disebut sebagai amplop gradasi.

3.3.6 Campuran Agregat dan Aspal

Proses pencampuran antara agregat dengan aspal dilakukan setelah komposisi agregat dari hasil proses *blending* ditetapkan untuk menghitung kadar aspal optimum yang direncanakan (pb). Kadar aspal yang diuji meliputi dua nilai di bawah dan dua nilai di atas Pb, dengan interval sebesar 0,5%. Setelah kadar aspal optimum berhasil ditentukan, langkah berikutnya adalah menetapkan proporsi kadar aspal rencana yang akan diaplikasikan dalam pembuatan benda uji sesuai standar SNI 06-2489-1991.

1. Campuran Agregat dan Aspal *Filler* Kerak Tungku Pembakaran

Berikut ini tahapan dalam pencampuran agregat dengan *filler* limbah kerak tungku pembakaran genteng dan juga batu kapur:

1. Peneliti mengeringkan seluruh bahan uji ke dalam oven pada suhu 105-110°C hingga beratnya stabil dan tidak mengalami penurunan.
2. Peneliti memanaskan aspal kemudian hingga mencapai suhu 170°C.
3. Peneliti menimbang setiap jenis agregat sesuai dengan proporsi yang telah dirancang, meliputi agregat kasar (5-10 mm, 10-20 mm), agregat halus serta *filler* yang berasal dari kerak tungku pembakaran dan batu kapur.
4. Peneliti memanaskan agregat terlebih dahulu, kemudian tambahkan aspal sesuai komposisi yang direncanakan, dan aduk dengan cepat hingga campuran mencapai suhu 180°C serta memastikan seluruh permukaan agregat terlapisi aspal.
5. Peneliti membersihkan cetakan, lalu menyiapkan alat pemadat.
6. Peneliti menempatkan kertas alas pada dasar cetakan, tuangkan campuran secara perlahan dan lakukan pemadatan dengan merojok campuran sebanyak 15 kali di sekitar pinggir cetakan dan 10 kali di bagian tengah campuran.
7. Peneliti meletakkan kertas di atas campuran untuk melindunginya selama proses pemadatan.
8. Peneliti menumbuk campuran menggunakan alat pemadat aspal sebanyak 75 kali pada kedua sisi cetakan.
9. Peneliti melepaskan cetakan dari alat pemadat dan membiarkan benda uji mendingin selama kurang lebih 24 jam.
10. Setelah campuran dingin, peneliti mengeluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan alat dorong.

3.3.7 Pengujian Marshall

Setelah pembuatan sampel selesai, tahap berikutnya adalah melakukan uji *Marshall*. Uji ini bertujuan untuk menilai kemampuan campuran agregat dan aspal dalam menahan deformasi plastis (*flow*) serta mengukur kekuatannya (*stabilitas*). Hasil dari pengujian *Marshall* ini akan memberikan data yang dibutuhkan sesuai dengan tujuan penelitian. Berikut adalah tahapan dalam melakukan uji *Marshall* :

11. Sebelum pengujian dimulai, peneliti merendam sampel dalam *water bath* bersuhu 60°C selama 30 menit.
12. Peneliti memastikan permukaan kepala penekan (*test head*) bersih sebelum digunakan.
13. Peneliti mengoleskan cairan pelumas pada kepala penekan agar dapat bergerak dengan lancar. Jika diperlukan, kepala penekan juga dapat direndam bersama sampel pada suhu antara 21°C hingga 38°C.

14. Setelah perendaman selesai, peneliti mengeluarkan sampel dari *water bath* dan menempatkannya pada segmen bawah kepala penekan. Pasang segmen atas pada bagian atas benda uji, kemudian letakkan keseluruhan pada alat penguji.
15. Peneliti memasang arloji kelelahan (*flow meter*) pada posisi yang sesuai dan putar pengatur jarum arloji hingga menunjukkan angka nol. Pegang selubung tangkai arloji (*sleeve*) dengan kuat pada segmen atas kepala penekan (*breaking head*).
16. Peneliti menaikkan kepala penekan beserta sampel hingga menyentuh atau menempel pada alas cincin penguji dengan menekan tombol “up” pada alat penguji. Pastikan posisi jarum arloji penekan ke posisi nol.
17. Peneliti memberikan beban pada sampel dengan menekan tombol “up” pada alat penguji. Beban diberikan secara perlahan dengan kecepatan konstan yaitu 50 mm per menit. Beban maksimum dicapai Ketika jarum arloji penekan mulai bergerak berlawanan arah. Tekan selubung tangkai arloji kelelahan pada segmen atas kepala penekan selama pembebanan berlangsung.
18. Setelah mencapai beban maksimum, peneliti mencatat angka kelelahan yang ditunjukkan oleh jarum arloji kelelahan serta angka stabilitas yang ditunjukkan oleh arloji ketahanan. Setelah itu, lepaskan selubung tangkai arloji kelelahan untuk melepaskan sampel.
19. Peneliti memastikan waktu yang diperlukan sejak sampel diangkat dari air perendaman hingga mencapai beban maksimum tidak melebihi 30 detik.

3.3.8 Kadar Aspal Optimum (KAO).

Kadar aspal optimum merujuk pada takaran aspal dalam campuran yang berperan penting dalam menentukan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan tekanan dari beban lalu lintas. Jika kadar aspal terlalu sedikit, lapisan perkerasan akan rentan mengalami retak, sedangkan jika kadar aspal yang terlalu banyak dapat mengakibatkan *bleeding*. Oleh karena itu, kadar aspal optimum adalah jumlah yang tepat untuk menghasilkan campuran perkerasan yang seimbang.

Kadar aspal optimum ditentukan berdasarkan aspal yang mampu memenuhi parameter Stabilitas, *Flow*, VMA, VIM, VFA dan *Marshall Quotient*. Tujuan penentuan kadar aspal ini adalah memastikan jumlah aspal dalam campuran efektif dan sesuai dengan kebutuhan.

Setelah memperoleh data mengenai Stabilitas, *Flow*, VMA, VIM, VFA dan *Marshall Quotient*. Prosedur berikutnya adalah melakukan analisis

terhadap spesifikasi yang sesuai dengan persyaratan aspal AC-WC. Batasan spesifikasi berdasarkan kadar aspal dapat divisualisasikan melalui diagram batang (*Bar Chart*) dan mengetahui apakah dengan menggunakan *filler* kerak tungku pembakaran genteng sebagai campuran memenuhi kriteria spesifikasi yang ditentukan atau tidak.

3.4 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Jalan Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur-Bali yang terletak di Kec. Waru, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Semua tahapan penelitian, mulai dari persiapan bahan, proses pencampuran, hingga pengujian, dilaksanakan di laboratorium tersebut untuk memastikan hasil yang akurat dan sejalan dengan tujuan penelitian.

1 BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan pedoman yang tertuang dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (revisi 2) tahun 2018. Data yang dianalisis diperoleh langsung dari hasil uji laboratorium, yang kemudian digunakan dalam proses pengolahan data. Adapun hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

4.1.1 Pengujian Analisa Saringan

Analisa saringan agregat merupakan prosedur yang digunakan untuk mengetahui persentase massa partikel agregat yang lolos dari serangkaian saringan dengan ukuran tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran (gradasi) pada agregat kasar dengan menggunakan saringan. Tujuan utama dari pengujian ini adalah memperoleh distribusi ukuran butiran serta persentase setiap fraksi. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua fraksi, yaitu dengan ukuran 5-10 mm, dan 10-15 mm. Pemilihan kedua fraksi tersebut didasarkan pada ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yang menyatakan bahwa pada lapisan LASTON AC-WC, agregat terbesar harus dapat melewati ayakan berukuran 3/4" dan tertahan pada ayakan 1/2" dalam kisaran 90-100%. Berikut merupakan hasil analisis saringan agregat kasar.

Tabel 4.1 Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar Fraksi 5-10 mm

No.	Ukuran Saringan		Berat Benda Uji 1 - (a)				Berat Benda Uji 2 - (a)				Berat Benda Uji 3 - (a)				Lolos rata-rata Uji 1 dan Uji 2 (%)
	ASTM (Inci)	SNI (mm)	ANALISA SARINGAN		Jumlah Persen (%)		ANALISA SARINGAN		Jumlah Persen (%)		ANALISA SARINGAN		Jumlah Persen (%)		
			Berat Tertahan (Gram) (b)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (c)	Tertahan Kumulatif (%) (d)	Lolos Kumulatif (%) (e)	Berat Tertahan (Gram) (b)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (c)	Tertahan Kumulatif (%) (d)	Lolos Kumulatif (%) (e)	Berat Tertahan (Gram) (b)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (c)	Tertahan Kumulatif (%) (d)	Lolos Kumulatif (%) (e)	
			c + b		(c / a)*100		100 - a		c + b		(c / a)*100		100 - d		
1	2"	50,8													
2	1 1/2"	37,5													
3	1"	25,4													
4	3/4"	19,1													
5	1/2"	12,5													
6	3/8"	9,5	60,8	60,80	2,85	97,15	28,6	28,60	1,31	98,69	44,70	44,70	2,07	97,93	97,92
7	No. 4	4,75	1502,7	1563,50	73,36	26,64	1525,5	1554,10	71,21	28,79	1514,10	1558,80	72,27	27,73	27,72
8	No. 8	2,36	342,6	1906,10	89,43	10,57	383,8	1937,90	88,80	11,20	363,20	1922,00	89,11	10,89	10,88
9	No. 16	1,18	123,8	2029,90	95,24	4,76	142,4	2080,30	95,33	4,67	133,10	2055,10	95,28	4,72	4,72
10	No. 30	0,6	29,5	2059,40	96,63	3,37	30,6	2110,90	96,73	3,27	30,05	2085,15	96,68	3,32	3,32
11	No. 50	0,3	18,4	2077,80	97,49	2,51	17,9	2128,80	97,55	2,45	18,15	2103,30	97,52	2,48	2,48
12	No. 100	0,15	15,9	2093,70	98,24	1,76	16,4	2145,20	98,30	1,70	16,15	2119,45	98,27	1,73	1,73
13	No. 200	0,075	14,7	2108,40	98,93	1,07	19,1	2164,30	99,18	0,82	16,90	2136,35	99,05	0,95	0,95
14	Pan	2,1	2110,50	99,02	0,98	9,5	2173,80	99,61	0,39	5,80	2142,15	99,32	0,68	0,68	

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

2
Tabel 4. 2 Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar Fraksi 10-15 mm

No.	Ukuran Saringan		Berat Benda Uji 1 : (a)				Berat Benda Uji 2 : (a)				Berat Benda Uji 3 : (a)				Lolos rata-rata Uji 1 dan Uji 2 (%)
	ASTM (Inci)	SNI (mm)	ANALISA SARINGAN		ANALISA SARINGAN		ANALISA SARINGAN		ANALISA SARINGAN		ANALISA SARINGAN				
			Berat Tertahan (Gram) (b)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (c)	Tertahan Kumulatif (%) (d)	Lolos Kumulatif (%) (e)	Berat Tertahan (Gram) (b)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (c)	Tertahan Kumulatif (%) (d)	Lolos Kumulatif (%) (e)	Berat Tertahan (Gram) (b)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (c)	Tertahan Kumulatif (%) (d)	Lolos Kumulatif (%) (e)	
			c - b	(c / a) * 100	100 - d	c - b	(c / a) * 100	100 - d	c - b	(c / a) * 100	100 - d	c - b	(c / a) * 100	100 - d	
1	2"	50,8													
2	1 1/2"	37,5													
3	1"	25,4													
4	3/4"	19,1			0	100			0	100				0	100,00
5	1/2"	12,5	861,7	861,70	16,54	83,46	855,7	855,70	16,35	83,65	858,70	858,70	16,45	83,55	83,55
6	3/8"	9,5	2169,5	3031,20	58,18	41,82	2242,4	3098,10	59,20	40,80	2205,95	3064,65	58,69	41,31	41,31
7	No. 4	4,75	1950,4	4981,60	95,61	4,39	1912,5	5010,60	95,75	4,25	1931,45	4996,10	95,68	4,32	4,32
8	No. 8	2,36	115,6	5097,20	97,83	2,17	88,2	5098,80	97,44	2,56	101,90	5098,00	97,63	2,37	2,36
9	No. 16	1,18	27,5	5124,70	98,36	1,64	20,3	5119,10	97,83	2,17	23,90	5121,90	98,09	1,91	1,91
10	No. 30	0,6	12,9	5137,60	98,61	1,39	10,5	5129,60	98,03	1,97	11,70	5133,60	98,32	1,68	1,68
11	No. 50	0,3	14,4	5152,00	98,88	1,12	14,7	5144,30	98,31	1,69	14,55	5148,15	98,60	1,40	1,40
12	No. 100	0,15	14,7	5166,70	99,17	0,83	14,6	5158,90	98,99	1,41	14,65	5162,80	98,88	1,12	1,12
13	No. 200	0,075	16,8	5183,50	99,49	0,51	16,8	5175,70	98,91	1,09	16,80	5179,60	99,20	0,80	0,80
14	Pan		1,7	5185,20	99,52	0,48	4,5	5180,20	98,99	1,01	3,10	5182,70	99,26	0,74	0,74

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil analisa saringan agregat kasar yang telah dilakukan akan dimanfaatkan untuk menentukan gradasi agregat dalam campuran serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan spesifikasi yang ditetapkan. Jika hasil analisa menunjukkan bahwa beberapa fraksi agregat tidak memenuhi standar yang ditentukan, maka agregat tersebut tidak dapat digunakan dalam pembuatan lapis perkerasan LASTON yang diharapkan. Berdasarkan hasil analisa, fraksi agregat 10-15 memiliki nilai rata-rata 0,80%, dan fraksi agregat 5-10 memiliki nilai rata-rata 0,95% untuk butiran yang melewati saringan No.200. Nilai-nilai tersebut sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, di mana agregat yang lolos saringan No.200 tidak boleh melebihi 1%.

4.1.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah berat jenis dan tingkat penyerapan agregat yang akan digunakan telah memenuhi standar yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis curah (*bulk*), berat jenis dalam kondisi kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)*, serta berat jenis semu (*apparent*) pada agregat kasar dengan dua fraksi berbeda 5-10 mm, dan 10-15 mm). Selain itu, pengujian ini juga mengukur tingkat penyerapan air oleh agregat kasar. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 4. 3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Fraksi 5-10

I. Hasil Percobaan :						
No.	Uraian		Pengujian			Satuan
			I	II	III	
1	Berat Benda Uji Kering Oven	A	2103,1	2037,5	2069,4	Gram
2	Berat Benda Uji Kering Jenuh Permukaan di Udara	B	2135,68	2070,61	2102,94	Gram
3	Berat Benda Uji Dalam Air	C	1363,91	1300,4	1332,56	Gram
II. Hasil Perhitungan :						
No.	Uraian		Pengujian			Rata-Rata
			I	II	III	
1	Berat Jenis Curah Kering (Sd)	A B - C	2,725	2,645	2,686	2,686
2	Berat Jenis Curah Kering Permukaan (Ss)	B B - C	2,767	2,688	2,730	2,728
3	Berat Jenis Semu (Sa)	A A - C	2,845	2,764	2,808	2,806
4	Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(B - A)}{A} \times 100$	1,549	1,625	1,621	1,598

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Tabel 4. 4 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Fraksi 10-15

I. Hasil Percobaan :						
No.	Uraian		Pengujian			Satuan
			I	II	III	
1	Berat Benda Uji Kering Oven	A	4207,4	4251,9	4228,7	Gram
2	Berat Benda Uji Kering Jenuh Permukaan di Udara	B	4239,85	4285,34	4261,36	Gram
3	Berat Benda Uji Dalam Air	C	2688,51	2733,52	2709,71	Gram
II. Hasil Perhitungan :						
No.	Uraian		Pengujian			Rata-Rata
			I	II	III	
1	Berat Jenis Curah Kering (Sd)	A B - C	2,712	2,740	2,725	2,726
2	Berat Jenis Curah Kering Permukaan (Ss)	B B - C	2,733	2,761	2,746	2,747
3	Berat Jenis Semu (Sa)	A A - C	2,770	2,800	2,784	2,785
4	Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(B - A)}{A} \times 100$	0,771	0,786	0,772	0,777

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian terhadap dua fraksi agregat kasar yang digunakan, fraksi 5-10 mm memiliki berat jenis curah (bulk) sebesar 2,686, berat jenis dalam kondisi kering permukaan jenuh (SSD) sebesar 2,728, serta berat jenis semu sebesar 2,806, dengan tingkat penyerapan air sebesar 1,598%. Untuk fraksi 10-15 mm hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis curahnya adalah 2,726, berat jenis SSD sebesar 2,747, berat jenis semu mencapai 2,785, dan tingkat penyerapan air sebesar 0,777%. Dari kedua hasil pengujian berat jenis semu, menunjukkan bahwa kedua fraksi telah memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, dimana berat jenis semu minimal yang diperbolehkan adalah 2,5. Selain itu, tingkat penyerapan air dari semua fraksi agregat juga telah sesuai dengan spesifikasi yang mengharuskan nilai penyerapan tidak lebih dari 3%.

4.1.3 Pengujian Keausan

Pengujian keausan atau abrasi dilakukan untuk mengukur ketahanan agregat kasar terhadap keausan serta menentukan angka keausan yang dinyatakan dalam bentuk persentase, yaitu perbandingan antara berat material yang aus dengan berat awalnya. Pengujian ini menggunakan mesin abrasi Los Angeles dengan total 500 putaran. Dalam proses pengujian ini, apabila agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran butiran terbesar yang tertahan pada saringan 3/8", maka jumlah bola baja yang digunakan sebanyak 11 buah, sebagaimana ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 5 Tabel Gradasi dan Berat Benda Uji untuk Keausan

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)						
Lolos saringan		Tertahan saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	inci	mm	inci							
75	3.0	63	2 1/2	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	2 1/2	50	2.0	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
50	2.0	37.5	1 1/2	-	-	-	-	5000 ± 50	5000 ± 25	5000 ± 25
37.5	1 1/2	25	1	1250±25	-	-	-	-	5000 ± 25	5000 ± 25
25	1	19	3/4	1250±25	-	-	-	-	-	5000 ± 25
19	3/4	12.5	1/2	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12.5	1/2	9.5	3/8	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9.5	3/8	6.3	¼	-	-	2500±10	-	-	-	-
6.3	1/4	4.75	No. 4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
4.75	No. 4	2.36	No. 8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat bola (gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25

(Sumber : SNI 2417-2008)

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Keausan Agregat 5-10

No	Agregat 5-10 (bola)				
	GRADASI PEMERIKSAAN SARINGAN		Jumlah Putaran =		500 Putaran
	LOLOS	TERTAHAN	Berat I	Berat II	Berat III
1	76,23 mm (3")	63,5 mm (2 1/2")			
2	63,5 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")			
3	50,8 mm (2")	36,1 mm (1 1/2")			
4	36,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")			
5	25,4 mm (1")	19,1 mm (3/4")			
6	19,1 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")			
7	12,7 mm (1/2")	9,52 mm (3/8")			
8	9,52 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")	2503,4	2503,9	2501,8
9	6,35 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)	2505,7	2504,1	2502,5
10	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)			
	Jumlah Berat (a)		5009,1	5008	5004,3
	Berat Tertahan Saringan No. 12 Sesudah Percobaan (b)		3882,4	3805,1	3842,6
	Keausan $\frac{a-b}{a} \times 100\%$		22,49	24,02	23,21
	Rata-rata		23,24		

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Keausan Agregat 10-15

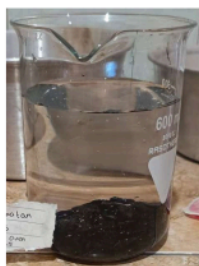
No	GRADASI PEMERIKSAAN		500 Putaran		
	SARINGAN		Jumlah Putaran =		
	LOLOS	TERTAHAN	Berat I	Berat II	Berat III
1	76,23 mm (3")	63,5 mm (2 1/2")			
2	63,5 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")			
3	50,8 mm (2")	36,1 mm (1 1/2")			
4	36,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")			
5	25,4 mm (1")	19,1 mm (3/4")			
6	19,1 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	2501,3	2504,2	2501,6
7	12,7 mm (1/2")	9,52 mm (3/8")	2501,5	2505,7	2503,1
8	9,52 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")			
9	6,35 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)			
10	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)			
	Jumlah Berat (a)		5002,8	5009,9	5004,7
	Berat Tertahan Saringan No. 12 Setelah Percobaan (b)		4089,5	4133,7	4112,9
	Keausan $\frac{a-b}{a} \times 100\%$		18,26	17,49	17,82
	Rata-rata		17,85		

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Pengujian terhadap keausan dua fraksi agregat kasar, yakni fraksi berukuran 5-10 mm dan 10-15 mm, menghasilkan nilai rata-rata keausan masing-masing sebesar 23,24% dan 17,85%. Nilai-nilai tersebut masih berada di bawah ambang batas minimum yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yaitu sebesar 30% untuk campuran aspal modifikasi, dengan pengujian dilakukan menggunakan alat *Los Angeles Abrasion*. Oleh karena itu, agregat pada kedua fraksi tersebut dinyatakan telah memenuhi kriteria teknis dan dapat digunakan.

4.1.4 Pengujian Kelekatan

Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 2439-2011 dan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Penentuan kelekatan agregat terhadap aspal dilakukan dengan mengukur persentase luas permukaan benda uji yang lolos saringan 9,52 mm dan tertahan pada saringan 6,35 mm yang tertutup aspal setelah proses perendaman dibandingkan dengan total luas permukaan. Berdasarkan data pemeriksaan, keakuratan pengujian ini dinilai secara visual, dengan syarat minimal 95% dari benda uji harus terselimuti oleh aspal.



Gambar 4. 1 Hasil Kelekatan Agregat Kasar
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian kelekatan agregat terhadap aspal yang diamati secara visual pada Gambar 4.1 menunjukkan tingkat kelekatan sebesar 100%. Nilai ini telah memenuhi persyaratan minimum sebesar 95% sesuai dengan SNI 2439-2011 dan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

4.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian terhadap agregat halus dilakukan berdasarkan pedoman yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil langsung dari pengujian laboratorium, termasuk tahap pengolahan data. Adapun hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

4.2.1 Pengujian Analisa Saringan

Analisa saringan agregat merupakan proses untuk menentukan persentase massa butiran agregat yang melewati serangkaian saringan dengan ukuran tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran (gradasi) pada agregat halus dengan menggunakan alat penyaring. Tujuan utama dari pengujian ini adalah memperoleh distribusi ukuran partikel serta persentase setiap fraksi. Berikut ini merupakan hasil analisa saringan agregat halus.

Tabel 4. 8 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus Fraksi 0-5 mm

No.	Ukuran Saringan		Berat Benda Uji 1 : (a)				Berat Benda Uji 2 : (a)				Berat Benda Uji 3 : (a)				Loket rata-rata Uji 1 dan Uji 2 (%)
	ASTM (inci)	SNI (mm)	ANALISA SARINGAN		JUMLAH PERSEN (%)		ANALISA SARINGAN		JUMLAH PERSEN (%)		ANALISA SARINGAN		JUMLAH PERSEN (%)		
			Berat Tertahan (Gram) (b)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (c)	Tetapan Kumulatif (%) (d)	Loos Kumulatif (%) (e)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (b)	Tetapan Kumulatif (%) (d)	Loos Kumulatif (%) (e)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram) (b)	Tetapan Kumulatif (%) (d)	Loos Kumulatif (%) (e)			
			c + b	(c/a)*100	100 - b	e + b	(c/a)*100	100 - d	e + b	(c/a)*100	100 - d				
1	2"	50,8													
2	1 1/2"	37,5													
3	1"	25,4													
4	3/4"	19,1													
5	1/2"	12,5													
6	3/8"	9,5			0	100			0	100			0	100	
7	No. 4	4,75	45,8	45,80	3,59	96,41	44,8	44,8	3,46	96,54	45,3	45,30	3,52	96,48	
8	No. 8	2,36	340,6	386,40	30,28	69,72	407,9	452,7	34,94	65,06	374,3	419,60	32,63	67,37	
9	No. 16	1,18	381,7	768,10	60,19	39,81	398,6	851,3	65,70	34,30	390,2	809,80	62,97	37,03	
10	No. 30	0,6	188,6	956,70	74,96	25,04	171,8	1023,1	78,96	21,04	180,2	990,00	76,98	23,02	
11	No. 50	0,3	104,6	1061,30	83,16	16,84	88,2	1111,3	85,76	14,24	96,4	1086,40	84,48	15,52	
12	No. 100	0,15	54,9	1116,20	87,46	12,54	43,6	1154,9	89,13	10,87	49,3	1135,70	88,31	11,69	
13	No. 200	0,075	36,8	1153,00	90,35	9,65	29,5	1184,4	91,40	8,60	33,2	1168,90	90,89	9,11	
14	Pan		3,2	1156,20	90,60	9,40	1,7	1186,1	91,53	8,47	2,5	1171,40	91,09	8,91	

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil analisa saringan agregat halus di atas akan digunakan untuk menentukan gradasi agregat dalam campuran serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan spesifikasi yang ditetapkan. Jika hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa fraksi agregat tidak memenuhi standar, maka agregat tersebut tidak dapat digunakan dalam pembuatan lapis perkerasan LASTON yang diharapkan. Berdasarkan hasil analisa agregat halus telah memenuhi spesifikasi, dengan persentase butiran yang lolos saringan No.200 sebesar 9,12%. Nilai ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yang mengatur bahwa persentase butiran yang melewati saringan No.200 tidak boleh melebihi 10%.

4.2.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah berat jenis dan tingkat penyerapan agregat yang akan digunakan sudah sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis curah (*bulk*), berat jenis dalam kondisi kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)*, serta berat jenis semu (*apparent*), termasuk tingkat penyerapan air oleh agregat halus. Berikut ini merupakan hasil pengujian agregat halus.

2 Tabel 4. 9 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

I. Hasil Percobaan :

No.	Uraian	S	Pengujian			Satuan
			I	II	III	
1	Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan	S	501,3	500,6	500,1	Gram
2	Berat Benda Uji Kering Oven	A	489,2	488,2	486,3	Gram
3	Berat Pánometer Yang Diisi Air	B	1586,7	1584,5	1582,6	Gram
4	Berat Pánometer Dengan Benda Uji dan Air sampai Batas Pembacaan	C	1897,5	1895,3	1893,1	Gram

2 II. Hasil Perhitungan :

No.	Uraian	S	Pengujian			Rata- Rata
			I	II	III	
1	Berat Jenis Curah Kering (Sd)	$\frac{B+A}{S}$	2,568	2,572	2,565	2,568
2	Berat Jenis Curah Kering Permukaan (Ss)	$\frac{B+S-C}{S}$	2,631	2,638	2,638	2,636
3	Berat Jenis Semu (Sa)	$\frac{B+A-C}{S}$	2,742	2,752	2,766	2,753
4	Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(S-A)}{A} \times 100$	2,473	2,540	2,838	2,617

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

1 Berdasarkan hasil pengujian terhadap fraksi agregat halus yang digunakan, nilai berat jenis curah (*bulk*) diperoleh 2,568, sedangkan berat jenis dalam kondisi kering permukaan jenuh (SSD) mencapai 2,636. Sementara itu, berat jenis semu tercatat sebesar 2,753 dengan tingkat penyerapan air sebesar 2,617%. Hasil tersebut telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yang mensyaratkan bahwa berat jenis semu harus lebih dari 2,5 dan tingkat penyerapannya tidak boleh melebihi 3%.

4.2.3 Pengujian Sand Equivalent

Pengujian agregat halus terhadap kandungan bahan plastis menggunakan metode setara pasir bertujuan sebagai acuan dalam menilai kualitas pasir atau agregat halus yang melewati saringan No.4 (4,76 mm). Pengujian ini mengacu pada SNI 03-4428-1997, dengan persyaratan minimum sebesar 50%. Hasil pemeriksaan Sand Equivalent dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 10 Sand Equivalent Agregat Halus

No.	Uraian	Pengujian		
		I	II	III
1	Tera tinggi tangkai penunjuk beban kedalaman gelas ukur (gelas keadaan kosong)	10	10	10
2	Baca skala lumpur (pembacaan skala permukaan lumpur lihat pada dinding gelas ukur)	3,7	4,0	3,9
3	Masukkan beban, baca skala beban pada tangkai penunjuk	12,6	12,9	12,8
4	Baca skala pasir : Pembacaan (3) - Pembacaan (1)	2,6	2,9	2,8
5	Nilai Sand Equivalent : $\frac{\text{Skala Pasir (4)}}{\text{Skala Lumpur (2)}} \times 100$	70,27	72,50	71,79
	Rata-rata Nilai Sand Equivalent	71,39		

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian sand equivalent pada agregat halus menunjukkan nilai sebesar 71,39%. Dengan nilai tersebut, hasil pengujian ini telah memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yang menetapkan bahwa nilai *sand equivalent* harus lebih dari 50%.

4.3 Hasil Pengujian *Filler*

Pengujian *filler* dilakukan berdasarkan acuan dari Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh secara langsung melalui uji laboratorium, termasuk dalam proses pengolahan datanya. Adapun hasil penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

4.3.1 Pengujian Analisa Saringan

Analisa saringan pada material *filler* bertujuan untuk menentukan persentase massa partikel yang melewati saringan No.200. Pengujian ini dilakukan guna memastikan bahwa *filler* memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, di mana minimal 75% dari total beratnya harus lolos saringan No.200. Tujuan utama dari pengujian ini adalah mengetahui distribusi ukuran serta jumlah persentase partikel yang terkandung didalamnya. Berikut ini merupakan hasil analisis saringan *filler*.

Tabel 4. 11 Hasil Analisa Saringan *Filler* Batu Kapur

Sampel	Agregat Halus - Filler Serbuk Batu Kapur (Berat Sampel Minimal 300 gram)												Rata-rata
	Satu				Dua				Tiga				
	Gram				Gram				Gram				
2	503,6				500,1				500,7				
Sieve	Kumulatif				Kumulatif				Kumulatif				
No.	Berat Tertahan	Kumulatif Berat Tertahan	Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif	Berat Tertahan	Kumulatif Berat Tertahan	Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif	Berat Tertahan	Kumulatif Berat Tertahan	Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif	
1 1/2"													
1"													
3/4"													
#4													
#8													
#16	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	100,00
#30	15,7	15,7	3,12	96,88	10,9	10,9	2,18	97,82	9,5	9,5	1,90	98,10	97,60
#50	10,6	26,3	5,22	94,78	9,8	20,7	4,14	95,86	11,3	20,8	4,15	95,85	95,49
#100	15,5	41,8	8,30	91,70	13,6	34,3	6,86	93,14	12,8	33,6	6,71	93,29	92,71
#200	24,9	66,7	13,24	86,76	52,1	86,4	17,28	82,72	41,5	75,1	15,00	85,00	84,83
PAN	426,8	493,5	97,99	2,01	409,7	496,1	99,20	0,80	415,9	491	98,06	1,94	1,58

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil analisa saringan pada *filler* batu kapur menunjukkan bahwa sebanyak 84,83% partikel yang melewati saringan No.200. Dengan demikian, berdasarkan hasil tersebut, *filler* batu kapur telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yang mensyaratkan bahwa persentase partikel yang lolos saringan No.200 harus lebih dari 75%.

Tabel 4. 12 Hasil Analisa Saringan *Filler* Kerak tungku Pembakaran

Agregat Halus : Filler Serbuk Kerak Tungku Pembakaran Genteng (Berat Sampel Minimal 300 gram)													
Sample	Satu				Dua				Tiga				Rata - rata
Berat	gram				gram				gram				
Sieve	Komulatif				Komulatif				Komulatif				
2 No.	Berat tertahan	Berat Tertahan Komulatif	Tertahan Komulatif	Lolos Komulatif	Berat tertahan	Berat Tertahan Komulatif	Tertahan Komulatif	Lolos Komulatif	Berat tertahan	Berat Tertahan Komulatif	Tertahan Komulatif	Lolos Komulatif	
1 1/2"													
1"													
3/4"													
1/2"													
3/8"													
# 4.													
# 8.													
# 16.													
# 30.	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	100,00
# 50.	8,7	8,7	1,73	98,27	8,6	8,6	1,70	98,30	8,8	8,8	1,74	98,26	98,28
# 100.	43,8	52,5	10,44	89,56	44,6	53,2	10,55	89,45	46,5	55,3	10,91	89,09	89,37
# 200.	52,6	105,1	20,90	79,10	65,3	118,5	23,49	76,51	59,9	115,2	22,72	77,28	77,63
PAN	396,7	501,8	99,80	0,20	384,6	503,1	99,72	0,28	391,00	506,2	99,82	0,18	0,22

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil analisa saringan, *filler* kerak tungku pembakaran genteng yang melewati saringan No.200 mencapai 77,63%, Dengan demikian, penggunaan *filler* kerak tungku pembakaran genteng telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, yang mensyaratkan bahwa persentase partikel yang lolos saringan No.200 harus melebihi 75%.

4.3.2 Pengujian Berat Jenis

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa nilai berat jenis material yang akan dipakai sebagai *filler* telah memenuhi ketentuan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Di bawah ini disajikan hasil pengujian terhadap berat jenis *filler* tersebut.

Tabel 4. 13 Berat Jenis *Filler* Batu Kapur

Filler Batu Kapur				
2 Nomor Contoh		Pic. 1	Pic. 2	Pic. 3
Massa piknometer + contoh	W2	54,3	55,7	59,1
Massa piknometer	W1	41,6	42,7	42,7
Massa filler	$Wt = W2 - W1$	12,7	13	16,4
Massa piknometer + Air + Filler	W3	151,5	149,4	148,8
Massa piknometer + Air	W4	142	142,6	142,6
	$W5 = W2 - W1 + W4$	154,7	155,6	159
Isi Filler	$W5 - W3$	3,2	6,2	10,2
Berat jenis	$Wt / W5 - W3$	3,969	2,097	1,608
Rata-rata		2,558		

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Dari hasil pengujian terhadap tiga sampel ⁵ *filler* batu kapur, diperoleh nilai rata-rata berat jenis sebesar 2,558. Nilai tersebut telah memenuhi standar minimal berat jenis, yaitu 2,5 sebagaimana tercantum dalam ² Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Tabel 4. 14 Berat Jenis *Filler* Kerak Tungku Pembakaran

² Filler Kerak Tungku Pembakaran Genteng				
² Nomor Contoh		Pic. 1	Pic. 2	Pic. 3
Massa piknometer + contoh	W2	80,6	81,8	80,5
Massa piknometer	W1	41,6	42,7	42,7
Massa filler	$Wt = W2 - W1$	39	39,1	37,8
Massa piknometer + Air + Filler	W3	166,9	165,7	167,5
Massa piknometer + Air	W4	142	142,6	142,6
	$W5 = W2 - W1 + W4$	181	181,7	180,4
² Filler	$W5 - W3$	14,1	16	12,9
Berat jenis	$Wt / W5 - W3$	2,766	2,444	2,930
Rata-rata			2,713	

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Pengujian terhadap berat jenis *filler* dari kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan bahwa rata-rata nilai dari tiga sampel adalah 2,713. Berdasarkan hasil tersebut, *filler* kerak tungku pembakaran genteng telah memenuhi persyaratan berat jenis minimum 2,5 sesuai dengan ⁶ Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

4.4 Hasil Pengujian Aspal

¹ Pengujian terhadap aspal jenis PG70 dilakukan berdasarkan acuan dari Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil langsung dari uji laboratorium, termasuk tahapan pengolahan datanya. Rincian hasil pengujian disajikan sebagai berikut.

4.4.1 Pengujian Berat Jenis

¹ Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa nilai berat jenis aspal PG70 yang akan digunakan telah sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Hasil Pengujian berat jenis aspal disajikan di bawah ini.

Tabel 4. 15 Berat Jenis Aspal PG70

Uraian	Waktu	Temperatur °C		
Contoh Dipanaskan	Mulai : 09.16 Selesai : 09.39	Temperatur Oven : 170°C		
Diatamkan pada temperatur ruang	Mulai : 11.46 Selesai : 12.48	2		
Direndam pada temperatur 25°C	Mulai : 12.48 Selesai : 01.18	Temperatur Bak Perendam : 25°C		
Pemeriksaan berat jenis	Mulai : Selesai :			
Uraian	Benda Uji I (gram)	Benda Uji II (gram)	Benda Uji III (gram)	
Massa piknometer + aspal (C)	52,672	53,853	58,724	
Massa piknometer kosong (A)	30,877	31,855	37,201	
Massa aspal (C - A)	21,795	21,998	21,523	
Massa piknometer + air (B)	59,134	59,432	65,259	
Massa piknometer kosong (B - A)	30,877	31,855	37,201	
Massa air (B - A) - (D - C)	28,257	27,577	28,058	
Massa piknometer + aspal + air (D)	59,968	60,320	66,077	
Massa piknometer + aspal (C)	52,672	53,853	58,724	
Massa air (D - C)	7,296	6,467	7,353	
Massa air (B - A) - (D - C)	20,961	21,11	20,705	
Berat jenis (C - A)	1,040	1,042	1,040	
Berat jenis (B - A) - (D - C)				
Berat jenis rata-rata	1,040			
Berat isi = Berat jenis x WT	1037,33			
*WT pada 15,6°C = 999,1 kg/m ³ , WT pada 25,0°C = 997,0 kg/m ³				

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Merujuk pada hasil pengujian yang disajikan dalam tabel di atas, aspal PG70 memiliki rata-rata nilai berat jenis (*specific gravity*) sebesar 1,040. Nilai ini telah sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018 untuk jenis aspal modifikasi.

4.4.2 Pengujian Penetrasi

Pengujian penetrasi merupakan metode untuk menentukan tingkat kekerasan aspal dengan mengukur seberapa dalam jarum penetrasi menembus permukaan material secara vertikal, yang dinyatakan dalam satuan 0,1 mm. Pengujian ini berfungsi untuk menilai tingkat konsistensi aspal, di mana nilai penetrasi yang lebih tinggi mengindikasikan sifat aspal yang lebih lunak. Di bawah ini disajikan hasil pengujian penetrasi terhadap aspal PG70 yang akan digunakan.

Tabel 4. 16 Penetrasi PG70

Uraian	Waktu	Temperatur °C		
Contoh dipanaskan	Mulai : 08.07	Suhu Pemanasan :		
	Selesai : 08.23			
Didiamkan pada temperatur ruang	Mulai : 09.08			
	Selesai : 09.35			
Direndam pada temperatur 20°C	Mulai : 09.35	Suhu Bak Rendam :		
	Selesai : 10.31			
Pemeriksaan penetrasi pada 25°C	Mulai : 10.31	Suhu Alat :		
	Selesai : 10.47			
Pemeriksaan penetrasi pada 25°C 100 gram, 5 detik	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji III	
	1	50	57	52
	2	57	55	54
	3	53	53	51
	4	50	51	51
	5	56	52	50
	Rata-rata	53,2	53,6	51,6
Rata-rata Keseluruhan	52,8			

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan tiga kali uji penetrasi yang telah dilakukan, aspal yang digunakan menunjukkan nilai penetrasi sebesar 52,8. Nilai tersebut telah memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (revisi 2) Tahun 2018.

4.4.3 Pengujian Titik Nyala

Pengujian titik nyala merupakan metode untuk mengidentifikasi potensi aspal menyala ketika terpapar panas atau sumber api, sehingga dapat dijadikan acuan dalam menilai risiko kebakaran saat aplikasi di lapangan. Titik nyala yang rendah menandakan keberadaan komponen yang mudah menguap dan mudah terbakar. Berikut disajikan hasil pengujian terhadap titik nyala aspal:

Tabel 4. 17 Titik Nyala Aspal PG70

Temperatur di bawah titik nyala																
Pembacaan Temperatur (I)				Pembacaan Temperatur (II)				Pembacaan Temperatur (III)								
menit	°C	menit	°C	menit	°C	menit	°C	menit	°C	menit	°C	menit	°C	menit	°C	
1	155	17	316	33	370	1	155	17	294	33	1	155	17	313	33	366
2	168	18	319	34		2	172	18	296	34	2	166	18	315	34	370
3	179	19	322	35		3	188	19	298	35	3	178	19	318	35	374
4	191	20	326	36		4	201	20	311	36	4	191	20	320	36	377
5	204	21	329	37		5	213	21	312	37	5	204	21	324	37	380
6	217	22	332	38		6	227	22	313	38	6	219	22	328	38	383
7	233	23	335	39		7	243	23	315	39	7	235	23	332	39	386
8	247	24	339	40		8	256	24	318	40	8	249	24	337	40	
9	261	25	344	41		9	267	25	319	41	9	262	25	341	41	
10	273	26	347	42		10	275	26	322	42	10	274	26	346	42	
11	284	27	350	43		11	279	27	325	43	11	284	27	348	43	
12	293	28	353	44		12	283	28	328	44	12	292	28	350	44	
13	301	29	351	45		13	289	29	331	45	13	300	29	352	45	
14	306	30	357	46		14	285	30	334	46	14	305	30	355	46	
15	311	31	362	47		15	289	31	336	47	15	308	31	356	47	
16	314	32	366	48		16	292	32	338	48	16	311	32	362	48	
Titik Nyala : 370				Titik Nyala : 338				Titik Nyala : 386								
Rata-rata								364,7								

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian terhadap tiga sampel menunjukkan bahwa rata-rata titik nyala yang diperoleh adalah 364,7°C. Nilai ini telah memenuhi ketentuan yang tercantum dalam Spesifikasi Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, di mana titik nyala untuk aspal dengan PG70 harus minimal 230 °C.

4.4.4 Pengujian Titik Lembek

Pengujian titik lembek dilakukan menggunakan dengan metode ring and ball untuk mengetahui suhu saat aspal dan ter mulai melunak. Hasil dari pengujian ini berguna untuk menilai seberapa sensitif aspal terhadap perubahan temperatur.

Tabel 4. 18 Titik Lembek Aspal PG70

Uraian		Waktu			Temperatur °C		
Contoh dipanaskan		Mulai : 08.07			Temperatur Oven :		
		Sesai : 08.23					
Didiamkan pada temperatur ruang		Mulai : 09.08					
		Sesai : 09.35					
Direndam pada temperatur 25°C		Mulai : 09.35			Temperatur Lemari Es :		
		Sesai : 14.21					
Pemeriksaan titik lembek		Mulai : 14.23					
Dimulai temperatur 25°C		Sesai : 14.41					
Suhu yang diamati		Waktu (detik)			Titik Lembek (°C)		
No	°C	I	II	III	I	II	III
1	5	0	0	0			
2	10	1,11	1,13	0,5			
3	15	2,15	2,17	1,58			
4	20	3,10	3,12	2,57			
5	25	4,09	4,11	3,54			
6	30	5,07	5,13	4,46			
7	35	6,06	6,10	5,35			
8	40	7,08	7,12	6,43			
9	45	8,07	8,10	7,42			
10	50	9,08	9,12	8,46			
11		9,52	10,02	9,10	52,6	53,1	51,7
Rata-rata						52,47	

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Dari hasil uji titik lembek yang dilakukan pada tiga sampel, diperoleh nilai rata-rata sebesar 52,47°C yang telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

4.4.5 Pengujian Daktilitas

Pengujian daktilitas dilakukan pada suhu 25°C ± 0,5°C atau pada suhu lain, dengan metode pengukuran jarak pemanjangan aspal dalam cetakan hingga terputus ketika ditarik dengan kecepatan 50 mm per menit ± 2,5 mm. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian daktilitas:

Tabel 4. 19 Daktilitas Aspal PG70

Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit				
Pengamatan	1	> 150	> 150	> 150
	2	> 150	> 150	> 150
	3	> 150	> 150	> 150
Rata-rata		> 150	> 150	> 150
Rata-rata		> 150		

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Dari hasil pengujian daktilitas yang telah dilakukan, diperoleh angka >150 cm. Nilai ini memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018, di mana syarat daktilitas pada suhu 25°C adalah minimal 100 cm.

4.5 Spesifikasi Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018

Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk pekerjaan jalan dan jembatan berisi ketentuan teknis terkait pelaksanaan konstruksi jalan dan jembatan. Dokumen ini berfungsi sebagai pedoman untuk menilai apakah suatu material layak digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Berikut ini adalah rekap hasil pengujian material yang dibandingkan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018:

Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Rekapitulasi Pengujian

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Hasil Pengujian Agregat Kasar					
Analisa saringan agregat kelas ayakan No.200					
1	Analisa saringan fraksi 5-10	ASTMC136-2012	0,87%	< 1%	Memenuhi
	Analisa saringan fraksi 10-15	ASTMC136-2012	0,74%	< 1%	Memenuhi
Abrasi dengan 500 putaran (%)					
2	Ketahanan Agregat 5-10	SNI 2417-2008	23,24%	< 30%	Memenuhi
	Ketahanan Agregat 10-15	SNI 2417-2008	17,85%	< 30%	Memenuhi
3	Kekakuan agregat terhadap aspal (%)	SNI 2439-2011	100%	> 95%	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 5-10					
4	Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2016	2,686	-	Dilaporkan
	Berat Jenis SSD	SNI 1969-2016	2,728	-	Dilaporkan
	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	2,806	> 2,5	Memenuhi
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	1,598%	< 3%	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 10-15					
5	Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2016	2,726	-	Dilaporkan
	Berat Jenis SSD	SNI 1969-2016	2,747	-	Dilaporkan
	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	2,785	> 2,5	Memenuhi
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	0,78%	< 3%	Memenuhi
Hasil Pengujian Agregat Halus					
Analisa saringan agregat kelas ayakan No.200					
6	Analisa saringan Fraksi 0-5	ASTMC136-2013	8,93%	< 10%	Memenuhi
	Sand Ekuivalen	SNI 4428-1997	71,39%	> 50%	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 0-5					
7	Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2016	2,658	-	Dilaporkan
	Berat Jenis SSD	SNI 1969-2016	2,636	-	Dilaporkan
	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	2,753	> 2,5	Memenuhi
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	2,617%	< 3%	Memenuhi
Hasil Pengujian Filler					
Analisa saringan agregat kelas ayakan No.200					
8	Analisa saringan filler serbuk batu kapur	ASTCM136-2012	84,83%	> 75%	Memenuhi
	Analisa saringan filler serbuk kerak tungku pembakaran genteng	ASTCM136-2012	77,63%	> 75%	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan					
9	Berat jenis filler serbuk batu kapur	SNI 1970-2016	2,558	> 2,5	Memenuhi
	Berat jenis filler serbuk kerak tungku pembakaran genteng	SNI 1970-2016	2,713	> 2,5	Memenuhi
Hasil Pengujian Aspal					
10	Berat Jenis	SNI 2456-2011	1,040	-	Dilaporkan
	Penetrasi aspal 25°C	SNI 2433-2011	52,8	-	Dilaporkan
11	Titik nyala (°C)	SNI 2441-2011	364,7	> 230	Memenuhi
	Titik leleh (°C)	SNI 2433-2011	52,47	-	Dilaporkan
12	Daktilitas pada 25°C	SNI 2433-2012	150	> 100	Memenuhi

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

1 Berdasarkan hasil pengujian terhadap material agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal, seluruh material tersebut dinyatakan memenuhi spesifikasi. Dengan demikian, semua material yang akan digunakan dalam penelitian ini layak dipakai untuk pengujian perkerasan LASTON AC-WC sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

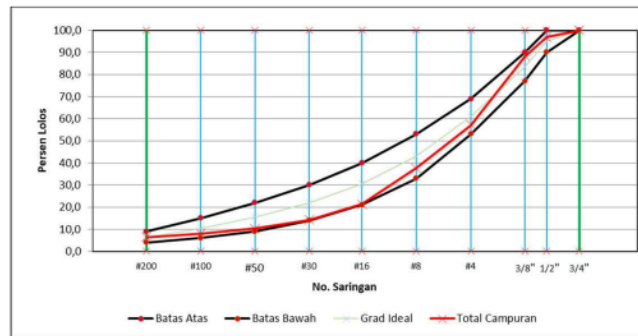
4.6 Campuran Agregat

Setelah dilakukan pengujian gradasi agregat, tahap berikutnya adalah melakukan proses pencampuran agregat atau *blending aggregate*. Perencanaan pencampuran ini penting untuk memastikan gradasi campuran dari setiap fraksi agregat (kasar, halus, dan *filler*) memenuhi kriteria spesifikasi. Acuan yang digunakan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Dalam penelitian ini, penentuan proporsi masing-masing fraksi dilakukan dengan metode “*Trial and Error*,” yaitu dengan mencoba berbagai kombinasi persentase agregat hingga gradasi campuran berada dalam rentang yang dipersyaratkan.

Tabel 4. 21 Campuran Agregat dengan Filler Batu Kapur

URAIAN	SIEVE SIZE									
	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Inch	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
mm										
Data Gradasi Agregat										
- AGREGAT KASAR (10-15)	100,0	83,6	41,3	4,3	2,4	1,9	1,7	1,4	1,1	0,8
- AGREGAT SEDANG (5-10)	100,0	100,0	97,9	27,7	10,9	4,7	3,3	2,5	1,7	1,0
- AGREGAT HALUS (0-5)	100,0	100,0	100,0	96,5	67,4	37,1	23,0	15,5	11,7	9,1
- Filler	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,7	95,6	92,8	85,0
Kombinasi Agregat										
- AGREGAT KASAR (10-15) 19,0%	19,0	15,9	7,8	0,8	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
- AGREGAT SEDANG (5-10) 32,0%	32,0	32,0	31,3	8,9	3,5	1,5	1,1	0,8	0,6	0,3
- AGREGAT HALUS (0-5) 47,0%	47,0	47,0	47,0	45,3	31,7	17,4	10,8	7,3	5,5	4,3
- Filler 2,0%	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,7
Total campuran	100,0%	100,0	96,9	88,2	57,0	37,6	21,3	14,2	10,3	8,1
Check Kontrol										
Max	100	100	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Min	100	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0
Gradasi Ideal	100	95	84	61	43	31	22	16	11	7

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

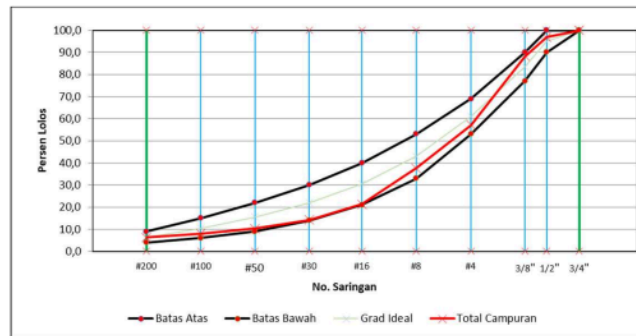


1
Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Gabungan AC-WC dengan Filler Batu Kapur
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Tabel 4. 22 Campuran Agregat dengan Filler Kerak Tungku

URAIAN	SIEVE SIZE									
	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Inch										
mm	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
Data Gradasi Agregat										
- AGREGAT KASAR (10-15)	100,0	83,6	41,3	4,3	2,4	1,9	1,7	1,4	1,1	0,8
- AGREGAT SEDANG (5-10)	100,0	100,0	97,9	27,7	10,9	4,7	3,3	2,5	1,7	1,0
- AGREGAT HALUS (0-5)	100,0	100,0	100,0	96,5	67,4	37,1	23,0	15,5	11,7	9,1
- Filler	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,3	89,4	77,6
Kombinasi Agregat										
- AGREGAT KASAR (10-15)	19,0%	19,0	15,9	7,8	0,8	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2
- AGREGAT SEDANG (5-10)	32,0%	32,0	32,0	31,3	8,9	3,5	1,5	1,1	0,8	0,6
- AGREGAT HALUS (0-5)	47,0%	47,0	47,0	45,3	31,7	17,4	10,8	7,3	5,5	4,3
- Filler	2,0%	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,8	1,6
Total campuran	100,0%	100,0	96,9	88,2	57,0	37,6	21,3	14,2	10,3	6,3
Uji Kontrol										
Max	100	100	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Min	100	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0
Gradasi Ideal	100	95	84	61	43	31	22	16	11	7

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)



Gambar 4. 3 Grafik Gradasi Gabungan AC-WC dengan Filler Kerak Tungku (Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Campuran agregat yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018 untuk LASTON AC-WC. Perencanaan komposisi campuran dilakukan dengan menyusun gradasi gabungan yang berada di antara batas minimum dan maksimum spesifikasi. Pada campuran agregat dengan tambahan filler batu kapur maupun kerak tungku pembakaran genteng, persentase komposisinya disusun dengan proporsi yang sama.

4.7

Campuran Agregat dan Aspal

Penentuan kadar aspal optimum dalam perencanaan dilakukan menggunakan rumus empiris yang memerlukan data persentase tiap fraksi agregat. Dalam penelitian ini, kadar aspal yang digunakan untuk campuran beraspal panas terdiri dari dua kadar di bawah dan dua kadar di atas aspal optimum rencana (P_b), masing-masing dengan selisih 0,5%. Berikut adalah perhitungan nilai kadar aspal optimum rencana untuk filler batu kapur:

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \\ &= 0,035 (100 - 37,6) + 0,045 (37,6 - 6,4) + 0,18 (6,4) + 0,75 \\ &= 5,49\% \text{ dibulatkan menjadi } 5,5\% \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan perhitungan nilai kadar aspal optimum rencana untuk filler kerak tungku pembakaran genteng:

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \\ &= 0,035 (100 - 37,6) + 0,045 (37,6 - 6,3) + 0,18 (6,3) + 0,75 \\ &= 5,48\% \text{ dibulatkan menjadi } 5,5\% \end{aligned}$$

Setelah diperoleh kadar aspal optimum rencana sebesar 5,5%, tahap selanjutnya adalah menentukan kadar aspal untuk campuran aspal panas,

dengan menggunakan dua kadar di bawah Pb dan dua kadar di atas Pb, masing-masing berjarak 0,5%. Dengan demikian, kadar aspal yang direncanakan dalam interval 0,5% adalah 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. Untuk memperjelas proses perencanaan pembuatan briket dalam penelitian ini, berikut disajikan tabel yang menunjukkan jumlah briket yang akan dibuat:

Tabel 4. 23 Rencana Jumlah Pembuatan Briket Setiap Variasi

Variasi Substitusi Filler	Kadar Aspal Rencana (Pb)/Benda Uji					Jumlah Briket	Total Briket
	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%		
100% Batu Kapur	3	3	3	3	3	15	75
75% Batu Kapur + 25% Kerak	3	3	3	3	3	15	
50% Batu Kapur + 50% Kerak	3	3	3	3	3	15	
25% Batu Kapur + 75% Kerak	3	3	3	3	3	15	
100% Kerak Tungku	3	3	3	3	3	15	

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Tabel 4. 24 Komposisi Pb Filler Batu Kapur

Material AC-WC	Campuran %	Berat Total Campuran %				
		4,5	5	5,5	6	6,5
		gram	gram	gram	gram	gram
Agregat 10-15	19%	208,7	207,6	206,5	205,4	204,3
Agregat 5-10	32%	351,4	349,6	347,8	345,9	344,1
Agregat 0-5	47%	516,2	513,5	510,8	508,1	505,4
Filler	2%	22,0	21,9	21,7	21,6	21,5
Batu Kapur 100%		22,0	21,9	21,7	21,6	21,5
Kerak Tungku Pembakaran 0%		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aspal		51,8	57,5	63,3	69,0	74,8
Total	100%	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Tabel 4. 25 Komposisi Pb Substitusi Filler Kerak Tungku 25%

Material AC-WC	Campuran %	Berat Total Campuran %				
		4,5	5	5,5	6	6,5
		gram	gram	gram	gram	gram
Agregat 10-15	19%	208,7	207,6	206,5	205,4	204,3
Agregat 5-10	32%	351,4	349,6	347,8	345,9	344,1
Agregat 0-5	47%	516,2	513,5	510,8	508,1	505,4
Filler	2%	22,0	21,9	21,7	21,6	21,5
Batu Kapur 75%		16,50	16,43	16,28	16,20	16,13
Kerak Tungku Pembakaran 25%		5,50	5,48	5,43	5,40	5,38
Aspal		51,8	57,5	63,3	69,0	74,8
Total	100%	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Tabel 4. 26 Komposisi Pb Substitusi Filler Kerak Tungku 50%

Material AC-WC	Campuran %	Berat Total Campuran %				
		4,5 gram	5 gram	5,5 gram	6 gram	6,5 gram
Agregat 10-15	19%	208,7	207,6	206,5	205,4	204,3
Agregat 5-10	32%	351,4	349,6	347,8	345,9	344,1
Agregat 0-5	47%	516,2	513,5	510,8	508,1	505,4
Filler	2%	22,0	21,9	21,7	21,6	21,5
Batu Kapur 50%		11,0	11,0	10,9	10,8	10,8
Kerak Tungku Pembakaran 50%		11,0	11,0	10,9	10,8	10,8
Aspal		51,8	57,5	63,3	69,0	74,8
Total	100%	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Tabel 4. 27 Komposisi Pb Substitusi Filler Kerak Tungku 75%

Material AC-WC	Campuran %	Berat Total Campuran %				
		4,5 gram	5 gram	5,5 gram	6 gram	6,5 gram
Agregat 10-15	19%	208,7	207,6	206,5	205,4	204,3
Agregat 5-10	32%	351,4	349,6	347,8	345,9	344,1
Agregat 0-5	47%	516,2	513,5	510,8	508,1	505,4
Filler	2%	22,0	21,9	21,7	21,6	21,5
Batu Kapur 25%		5,50	5,48	5,43	5,40	5,38
Kerak Tungku Pembakaran 75%		16,50	16,43	16,28	16,20	16,13
Aspal		51,8	57,5	63,3	69,0	74,8
Total	100%	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Tabel 4. 28 Komposisi Pb Substitusi Filler Kerak Tungku 100%

Material AC-WC	Campuran %	Berat Total Campuran %				
		4,5 gram	5 gram	5,5 gram	6 gram	6,5 gram
Agregat 10-15	19%	208,7	207,6	206,5	205,4	204,3
Agregat 5-10	32%	351,4	349,6	347,8	345,9	344,1
Agregat 0-5	47%	516,2	513,5	510,8	508,1	505,4
Filler	2%	22,0	21,9	21,7	21,6	21,5
Batu Kapur 0%		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kerak Tungku Pembakaran 100%		22,0	21,9	21,7	21,6	21,5
Aspal		51,8	57,5	63,3	69,0	74,8
Total	100%	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Setelah kadar aspal rencana ditentukan, langkah berikutnya adalah pembuatan briket sesuai dengan komposisi campuran yang telah dirancang sebelumnya. Untuk tiap variasi kadar aspal yang telah ditetapkan, diproduksi 3 briket sebagai sampel pengujian. Tujuan dari pembuatan sampel ganda ini

adalah untuk menjamin konsistensi dan keakuratan data melalui pengujian berulang pada setiap kadar aspal yang diuji.

4.8 Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk memperoleh parameter penting dari campuran aspal, antara lain kepadatan (*density*), rongga dalam campuran (VIM), stabilitas, deformasi plastis (*flow*), serta *Marshall Quotient* (MQ). Proses pengujian ini mengacu pada standar SNI 06-2489-1991. Adapun hasil lengkap dari pengujian *Marshall* disajikan sebagai berikut:

4.8.1 Pengujian Marshall Filler Batu Kapur

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengevaluasi sifat dan kinerja campuran aspal panas yang menggunakan batu kapur sebagai bahan pengisi (*filler*). Hasil dari pengujian tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. 29 Pengujian Marshall Substitusi Filler Batu Kapur

Kode Dukt	Kadar Aspal		Batas Benda Uji				Kepadatan	Besar. Jerni Campuran Maksimum (teoritik)	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Voids dalam Campuran (VTV)	Rongga Total Aspal (VTA)	Sudut			Pelebaran	Hard. Top Marshall	Ratarata Efektif	Tebal Film Aspal
	Min	Max	Min	Max	Min	Max						Min	Max	Min				
1	4,5	11,27,2	11,30,1	695,6	484,6	2,317	2,486	16,00	6,81	57,66	380	950,0	950,0	3,60	263,9	4,16	7,69	
2	4,5	11,25,2	11,35,6	694,9	480,7	2,341	2,486	15,22	5,85	61,55	420	1050,0	1050,0	3,70	283,8	4,16	7,69	
3	4,5	11,25,4	11,31,5	691,1	480,4	2,343	2,486	15,16	5,78	61,85	410	1025,0	1025,0	4,20	241,0	4,16	7,69	
Rata-rata	4,5						2,333	2,486	15,49	6,15	60,35			1008,3	3,83	263,9	4,16	7,69
1	5,0	11,39,2	11,40,5	694,7	486,8	2,310	2,468	16,06	5,91	65,06	400	1075,0	1075,0	3,50	307,1	4,67	8,67	
2	5,0	11,39,6	11,36,2	696,9	479,4	2,363	2,468	14,88	4,28	71,21	400	1000,0	1000,0	3,70	270,3	4,67	8,67	
3	5,0	11,39,6	11,35,2	699,8	474,4	2,383	2,468	14,14	3,45	75,62	400	1050,0	1050,0	3,40	308,8	4,67	8,67	
Rata-rata	5,0						2,359	2,468	15,03	4,45	70,63			1041,7	3,53	295,4	4,67	8,67
1	5,5	11,38,0	11,40,6	693,7	479,9	2,371	2,451	15,02	3,24	78,43	380	950,0	950,0	3,70	256,8	5,17	9,65	
2	5,5	11,40,1	11,48,2	694,2	484,0	2,356	2,451	15,38	3,87	75,13	320	800,0	800,0	3,50	238,6	5,17	9,65	
3	5,5	11,43,1	11,52,4	692,0	490,4	2,311	2,451	16,47	4,89	70,32	520	1300,0	1300,0	4,30	302,3	5,17	9,65	
Rata-rata	5,5						2,353	2,451	15,69	4,80	74,63			1016,7	3,83	262,6	5,17	9,65
1	6,0	11,31,2	11,39,7	695,6	484,1	2,341	2,433	16,55	3,80	77,07	510	1275,0	1275,0	3,30	386,4	5,67	10,64	
2	6,0	11,31,7	11,37,3	694,8	482,5	2,345	2,433	16,39	3,60	78,01	370	925,0	925,0	3,60	256,9	5,67	10,64	
3	6,0	11,33,2	11,36,1	693,0	481,1	2,346	2,433	16,39	3,60	78,01	380	950,0	950,0	3,40	306,5	5,67	10,64	
Rata-rata	6,0						2,344	2,433	16,44	3,67	77,70			1059,0	3,33	316,6	5,67	10,64
1	6,5	11,39,5	11,39,6	690,8	488,8	2,317	2,416	17,84	4,10	77,05	410	1025,0	1025,0	3,50	292,9	6,17	11,65	
2	6,5	11,39,7	11,46,1	694,2	491,0	2,321	2,416	17,89	3,91	77,87	440	1100,0	1100,0	2,80	392,9	6,17	11,65	
3	6,5	11,37,4	11,40,5	691,5	491,0	2,317	2,416	17,89	4,11	78,98	420	1050,0	1050,0	3,30	318,2	6,17	11,65	
Rata-rata	6,5						2,318	2,416	17,80	4,04	77,93			1068,3	3,20	354,6	6,17	11,65

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall* menggunakan filler batu kapur, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. 29, diperoleh data sebagai berikut:

1. *Volume void* dalam agregat (VMA) pada campuran tanpa kerak tungku pembakaran genteng (0%) menunjukkan hasil sesuai spesifikasi, yakni minimal 15% pada seluruh variasi kadar aspal yang diuji.
2. *Void* dalam campuran (VIM) untuk kadar aspal 4,5% dengan nilai 6,15% tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan (3%-5%). Namun, untuk kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% hasilnya sesuai standar dengan nilai berturut-turut sebesar 4,45%, 4,00%, 3,67%, dan 4,04%.

3. *Void filled with bitumen* (VFB) pada kadar aspal 4,5% dengan nilai 60,35%, belum memenuhi syarat minimum sebesar 65%. Sementara itu, kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% memberikan hasil yang memenuhi spesifikasi, yaitu 70,63%, 74,63%, 77,70%, dan 77,30%.
4. Stabilitas tertinggi tercatat pada kadar aspal 6,5% dengan nilai 1058,3 kg, sementara stabilitas terendah muncul pada kadar aspal 4,5% sebesar 1008,3 kg. Meskipun demikian, seluruh hasil stabilitas telah memenuhi batas minimum yang disyaratkan, yaitu 1000 kg.
5. *Flow* (pelelehan) untuk seluruh kadar aspal yang diuji berada dalam rentang yang disyaratkan, yaitu antara 2 mm hingga 4 mm.
6. *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi tercapai pada kadar aspal 6,5% yaitu dengan nilai 334,6 kg/mm. Adapun nilai MQ terendah diperoleh pada kadar aspal 4,5% yaitu sebesar 263,9 kg/mm.

4.8.2 Pengujian Marshall Filler Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Pengujian *Marshall* dilakukan guna menganalisis karakteristik campuran aspal panas yang memanfaatkan serbuk kerak tungku pembakaran genteng sebagai material *filler*. Rangkaian hasil dari pengujian tersebut disajikan tabel berikut ini:

Tabel 4. 30 Pengujian Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 25%

Uji Campuran Maksimum (GMM)		2,478		UJI CAMPURAN DENGAN ALAT MARSHALL										B3 Aspal		L0-40				
Kadar Aspal GMM		5,5												Absorpsi Aspal		0,852				
B3 Gabungan Aspal Buk		2,637												Kal. Proving ring		2,5				
B3 Aspal Filler		2,895																		
Kode Sampel	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Kapasitas		Berat Jenis Campuran Maksimum (theoritis)	Rongga Dalam Aspal (VFA)	Rongga Terbuka Campuran (VFA)	Rongga Fisi Aspal (VFA)	Rencana Pada Alat	Substansi		Pelelehan	Hasil Bag. Hantut	Kadar Aspal Effektif	Tebal Film Aspal		
	Ind. Berat Agregat	Ind. Berat Campuran	Kering	SDO	Dalam Air	di Benda Uji	Kapasitas						mm	mm					mm	mm
	%	%	gr	gr	gr	cc	gr/cc	%	%	%	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r		
	100 ^a (100+10 ^b)		100 ^c (100+10 ^d)		100 ^e (100+10 ^f)		100 ^g (100+10 ^h)		100 ⁱ (100+10 ^j)		100 ^k (100+10 ^l)		100 ^m (100+10 ⁿ)		100 ^o (100+10 ^p)		100 ^q (100+10 ^r)			
1	4,5	11,36,5	1143,0	696,2	486,8	2,335	2,515	15,44	7,36	53,60	390	975,0	975,0	3,40	286,8	3,69	6,77			
2	4,5	11,39,9	1145,6	693,3	488,4	2,320	2,515	15,99	7,36	51,44	510	1275,0	1275,0	3,80	335,5	3,69	6,77			
3	4,5	11,38,8	1144,1	692,5	491,6	2,317	2,515	16,30	7,89	51,01	430	1075,0	1075,0	3,60	298,6	3,69	6,77			
Rata-Rata			4,5			2,324	2,515	15,84	7,60	52,02				1108,3	3,60	307,0	3,69	6,77		
1	5,0	11,37,5	1146,0	695,6	490,4	2,320	2,496	16,43	7,08	56,90	510	1275,0	1275,0	3,30	344,6	4,19	7,73			
2	5,0	11,40,5	1147,7	695,8	491,9	2,323	2,496	16,32	6,96	57,33	410	1025,0	1025,0	3,60	294,7	4,19	7,73			
3	5,0	11,35,6	1139,1	695,9	490,2	2,317	2,496	16,54	7,21	56,42	380	950,0	950,0	3,30	306,5	4,19	7,73			
Rata-Rata			5,0			2,320	2,496	16,43	7,08	56,89				1083,3	3,47	311,0	4,19	7,73		
1	5,5	11,39,6	1139,7	695,5	491,3	2,305	2,478	17,38	6,97	59,88	410	1050,0	1050,0	3,30	338,2	4,69	8,71			
2	5,5	11,37,2	1145,5	693,6	491,8	2,312	2,478	17,54	6,70	60,90	420	1050,0	1050,0	3,30	338,7	4,69	8,71			
3	5,5	11,40,1	1149,8	696,5	493,2	2,312	2,478	17,36	6,72	60,81	490	1125,0	1125,0	3,50	324,4	4,69	8,71			
Rata-Rata			5,5			2,310	2,478	17,28	6,80	60,53				1075,0	3,30	336,1	4,69	8,71		
1	6,0	11,34,5	1138,1	694,9	493,2	2,348	2,480	16,31	4,57	71,97	370	925,0	925,0	3,50	264,3	5,20	9,70			
2	6,0	11,37,4	1145,4	696,6	494,7	2,346	2,480	16,36	4,63	71,72	490	1225,0	1225,0	4,20	291,2	5,20	9,70			
3	6,0	11,40,2	1146,3	699,5	497,8	2,342	2,480	16,52	4,62	70,84	360	900,0	900,0	3,20	249,2	5,20	9,70			
Rata-Rata			6,0			2,345	2,480	16,40	4,62	71,51				1016,7	3,60	266,4	5,20	9,70		
1	6,5	11,34,1	1138,0	695,9	497,1	2,328	2,440	17,44	4,67	73,23	490	1225,0	1225,0	3,90	314,1	5,70	10,70			
2	6,5	11,41,2	1145,6	695,5	490,0	2,329	2,440	17,43	4,65	73,29	460	1150,0	1150,0	3,80	302,6	5,70	10,70			
3	6,5	11,32,3	1136,3	695,7	495,7	2,327	2,440	17,56	4,74	73,90	410	1050,0	1050,0	3,20	328,1	5,70	10,70			
Rata-Rata			6,5			2,328	2,442	17,46	4,69	73,14				1141,7	3,63	315,0	5,70	10,70		

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall* dengan substitusi *filler* kerak tungku pembakaran genteng 25%, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. 30, diperoleh data sebagai berikut:

1. *Volume void* dalam agregat (VMA) pada campuran substitusi *filler* kerak tungku pembakaran genteng 25% menunjukkan hasil sesuai spesifikasi, yakni minimal 15% pada seluruh variasi kadar aspal yang diuji.
2. *Void* dalam campuran (VIM) untuk variasi kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 5,5% secara berurutan dengan nilai 7,60%, 7,08%, dan 6,80% tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan (3%-5%). Namun, untuk kadar aspal 6,0%, dan 6,5% hasilnya sesuai standar dengan nilai berturut-turut sebesar 4,67%, dan 4,69%.
3. *Void filled with bitumen* (VFB) pada kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 5,5% secara berurutan dengan nilai dengan nilai 52,02%, 56,89% dan 60,53 belum memenuhi syarat minimum sebesar 65%. Sementara itu, kadar aspal 6,0%, dan 6,5% memberikan hasil yang memenuhi spesifikasi, yaitu 71,51%, dan 73,14%.
4. Stabilitas tertinggi tercatat pada kadar aspal 6,5% dengan nilai 1141,7 kg, sementara stabilitas terendah muncul pada kadar aspal 5,5% sebesar 1075,0 kg. Meskipun demikian, seluruh hasil stabilitas telah memenuhi batas minimum yang disyaratkan, yaitu 1000 kg.
5. *Flow* (pelelehan) untuk seluruh kadar aspal yang diuji berada dalam rentang yang disyaratkan, yaitu antara 2 mm hingga 4 mm.
6. *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi tercapai pada kadar aspal 6,5% yaitu dengan nilai 315,0 kg/mm. Adapun nilai MQ terendah diperoleh pada kadar aspal 6,0% yaitu sebesar 266,4 kg/mm.

Tabel 4. 31 Pengujian Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 50%

B3. Campuran Maksimum (GMM)		2,401		UJI CAMPURAN DENGAN ALAT MARSHALL										B3. Aspal		1,040		
Kadar Aspal GMM		5,5												Absorpsi Aspal		1,085		
B3. Gabungan Agg. Buk		2,637												Kal. Proving ring		2,5		
B3. Agg. Efektif		2,712																
Kode Bina	Kadar Aspal (%)	Berdasarkan Uji			Kapasitas (cc)	Berdasarkan Campuran Maksimum (teoritis)	Rongga Void (VIM) (%)	Rongga Terisi (VFA) (%)	Rongga Teraspal (VFA) (%)	Rongga Tanpa Aspal (VFA) (%)	Suhu Uap		Pelelehan (mm)	Hambatan Hantam (kg/mm)	Kadar Aspal Efektif (%)	Tinggi Perm. Aspal (mm)		
		Wt. Berat Agregat (%)	Wt. Berat Campuran (%)	SSD							Dalam Agg.	Temp. Atas (°C)					Temp. Bawah (°C)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1	4,5	1131,2	1136,7	696,4	480,3	2,399	2,520	14,56	6,70	53,96	410	1025,0	1025,0	4,80	222,8	3,46	6,33	
2	4,5	1132,1	1138,7	696,5	482,2	2,348	2,520	14,56	7,14	52,26	480	1200,0	1200,0	2,90	413,8	3,46	6,33	
3	4,5	1136,4	1143,4	694,3	481,1	2,323	2,520	15,85	8,11	48,82	440	1300,0	1100,0	2,30	478,3	3,46	6,33	
Rata-rata		4,5				2,344	2,520	15,12	7,32	51,68				1108,3	3,27	371,6	3,46	6,33
1	5,0	1127,7	1139,5	699,9	479,6	2,352	2,510	15,28	6,31	58,73	380	950,0	950,0	3,60	263,9	3,97	7,30	
2	5,0	1132,2	1137,9	696,4	481,5	2,351	2,510	15,28	6,31	58,71	410	1050,0	1050,0	3,50	300,0	3,97	7,30	
3	5,0	1130,4	1136,1	694,3	481,9	2,346	2,510	15,48	6,53	57,63	420	1050,0	1050,0	3,30	338,1	3,97	7,30	
Rata-rata		5,0				2,350	2,510	15,35	6,38	58,42				1016,7	3,43	297,3	3,97	7,30
1	5,5	1126,9	1130,7	693,2	477,5	2,360	2,491	15,42	5,27	65,83	410	1050,0	1050,0	3,50	300,0	4,47	8,27	
2	5,5	1135,6	1139,2	697,0	482,2	2,355	2,491	15,59	5,46	64,99	410	1025,0	1025,0	4,10	290,0	4,47	8,27	
3	5,5	1132,6	1136,5	694,7	481,8	2,351	2,491	15,75	5,64	64,20	440	1100,0	1100,0	3,90	289,1	4,47	8,27	
Rata-rata		5,5				2,355	2,491	15,59	5,46	65,01				1058,3	3,83	277,4	4,47	8,27
1	6,0	1131,0	1136,4	695,9	480,4	2,354	2,473	16,08	4,81	70,09	350	875,0	875,0	3,30	285,2	4,98	9,26	
2	6,0	1124,6	1129,3	694,5	474,8	2,369	2,473	15,56	4,22	72,88	390	975,0	975,0	3,60	270,8	4,98	9,26	
3	6,0	1135,1	1139,7	699,8	482,9	2,350	2,473	16,21	4,96	69,42	470	1175,0	1175,0	3,90	301,3	4,98	9,26	
Rata-rata		6,0				2,358	2,473	15,95	4,66	70,80				1068,3	3,60	279,3	4,98	9,26
1	6,5	1146,4	1145,3	697,4	487,8	2,340	2,435	17,04	4,70	73,43	410	1025,0	1025,0	4,10	290,0	5,49	10,26	
2	6,5	1138,4	1142,3	694,6	487,7	2,314	2,435	17,23	4,30	71,46	430	1075,0	1075,0	4,30	290,0	5,49	10,26	
3	6,5	1134,3	1137,5	693,9	483,7	2,345	2,435	16,85	4,48	71,42	480	1200,0	1200,0	3,20	375,0	5,49	10,26	
Rata-rata		6,5				2,340	2,435	17,04	4,70	72,43				1100,0	3,87	291,7	5,49	10,26

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall* dengan substitusi *filler* kerak tungku pembakaran genteng 50%, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. 31, diperoleh data sebagai berikut:

1. *Volume void* dalam agregat (VMA) pada campuran substitusi *filler* kerak tungku pembakaran genteng 50% menunjukkan hasil sesuai spesifikasi, yakni minimal 15% pada seluruh variasi kadar aspal yang diuji.
2. *Void* dalam campuran (VIM) untuk variasi kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 5,5% secara berurutan dengan nilai 7,32%, 6,38%, dan 5,46% tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan (3%-5%). Namun, untuk kadar aspal 6,0%, dan 6,5% hasilnya sesuai standar dengan nilai berturut-turut sebesar 4,66%, dan 4,70%.
3. *Void filled with bitumen* (VFB) pada kadar aspal 4,5%, dan 5,0% secara berurutan dengan nilai dengan nilai 51,68%, dan 58,42% belum memenuhi syarat minimum sebesar 65%. Sementara itu, kadar aspal 5,5%, 6,0%, dan 6,5% memberikan hasil yang memenuhi spesifikasi, yaitu 65,01%, 70,80%, dan 72,43%.
4. Stabilitas tertinggi tercatat pada kadar aspal 4,5% dengan nilai 1108,3 kg, sementara stabilitas terendah muncul pada kadar aspal 6,0% sebesar 1008,3 kg. Meskipun demikian, seluruh hasil stabilitas telah memenuhi batas minimum yang disyaratkan, yaitu 1000 kg.
5. *Flow* (pelelehan) untuk seluruh kadar aspal yang diuji berada dalam rentang yang disyaratkan, yaitu antara 2 mm hingga 4 mm.
6. *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi tercapai pada kadar aspal 4,5% yaitu dengan nilai 371,6 kg/mm. Adapun nilai MQ terendah diperoleh pada kadar aspal 5,5% yaitu sebesar 277,4 kg/mm.

Tabel 4. 32 Pengujian Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 75%

Uji Campuran Maksimum (GMP)		2,477		UJI CAMPURAN DENGAN ALAT MARSHALL										B1 Aspal		L040		
Kadar Aspal (GMP)		5,5												Aspal Aspal		0,833		
B1 Gabungan Agg. Buk		2,437												Kal. Proving ring		2,5		
B1 Agg. Efektif		2,094																
Kode Baku	Kadar Aspal (%)	Berdasarkan Berat				Kapasitas	Berdasarkan Volume	Rasio Campuran Maksimum (GMP)	Rasio Campuran Agregat (GMP)	Rasio Filler (GMP)	Rasio Filler Aspal (GMP)	Stabilitas			Pelebaran	Hasil Pengujian Marshall	Kadar Aspal Efektif (%)	Total Filler Aspal
		mm	mm	mm	mm							mm	mm	mm				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	4,5	1130,3	1136,1	681,4	484,7	2,332	2,514	15,54	7,24	53,45	380	950,0	950,0	4,60	206,5	3,70	6,80	
2	4,5	1135,5	1136,7	683,9	482,8	2,352	2,514	14,83	6,45	56,50	350	875,0	875,0	4,50	194,4	3,70	6,80	
3	4,5	1133,4	1137,6	686,9	491,7	2,305	2,514	16,52	8,31	49,71	410	1075,0	1075,0	3,60	238,6	3,70	6,80	
Rata-rata		4,5				2,330	2,514	15,63	7,33	52,22			966,7	4,23	233,2	3,70	6,80	
1	5,0	1129,5	1135,9	686,6	479,3	2,356	2,495	15,11	5,57	63,12	420	1090,0	1090,0	3,80	236,3	4,21	7,77	
2	5,0	1129,5	1135,9	686,6	479,3	2,356	2,495	15,11	5,57	63,12	420	1090,0	1090,0	3,80	236,3	4,21	7,77	
3	5,0	1133,4	1137,4	688,8	478,6	2,368	2,495	14,68	5,10	65,28	420	1090,0	1090,0	3,60	231,7	4,21	7,77	
Rata-rata		5,0				2,348	2,495	15,40	5,90	61,86			1091,7	3,60	304,5	4,21	7,77	
1	5,5	1131,6	1135,4	685,6	479,8	2,359	2,477	15,48	4,79	69,06	340	850,0	850,0	3,70	229,7	4,71	8,75	
2	5,5	1136,7	1142,0	687,8	484,1	2,348	2,477	15,86	5,22	67,09	480	1200,0	1200,0	3,70	324,2	4,71	8,75	
3	5,5	1130,6	1134,2	689,7	474,6	2,382	2,477	14,92	3,81	71,83	480	1200,0	1200,0	3,50	342,5	4,71	8,75	
Rata-rata		5,5				2,363	2,477	15,32	4,61	69,99			1083,3	3,63	299,0	4,71	8,75	
1	6,0	1129,7	1135,9	683,7	482,2	2,343	2,459	16,48	4,73	71,32	540	1350,0	1350,0	4,30	334,0	5,22	9,74	
2	6,0	1129,8	1136,0	686,6	481,4	2,357	2,459	15,97	4,15	74,03	420	1090,0	1090,0	3,50	328,2	5,22	9,74	
3	6,0	1135,5	1139,0	684,4	484,6	2,343	2,459	16,47	4,71	71,38	510	1225,0	1225,0	3,50	338,6	5,22	9,74	
Rata-rata		6,0				2,348	2,459	16,31	4,53	72,25			1241,7	3,70	336,0	5,22	9,74	
1	6,5	1132,5	1136,7	684,3	482,5	2,347	2,441	16,77	3,86	77,01	360	1400,0	1400,0	4,10	341,5	5,72	10,74	
2	6,5	1126,2	1130,5	680,3	480,1	2,346	2,441	16,83	3,81	76,66	480	1225,0	1225,0	3,90	334,1	5,72	10,74	
3	6,5	1129,7	1133,2	683,2	483,0	2,342	2,441	16,36	4,08	75,95	510	1225,0	1225,0	3,80	334,2	5,72	10,74	
Rata-rata		6,5				2,345	2,441	16,85	3,95	76,54			1300,0	3,87	336,6	5,72	10,74	

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall* dengan substitusi *filler* kerak tungku pembakaran genteng 75%, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. 32, diperoleh data sebagai berikut:

1. *Volume void* dalam agregat (VMA) pada campuran substitusi *filler* kerak tungku pembakaran genteng 75% menunjukkan hasil sesuai spesifikasi, yakni minimal 15% pada seluruh variasi kadar aspal yang diuji.
2. *Void* dalam campuran (VIM) untuk variasi kadar aspal 4,5%, dan 5,0% secara berurutan dengan nilai 7,33%, dan 5,90% tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan (3%-5%). Namun, untuk kadar aspal 5,5%, 6,0%, dan 6,5% hasilnya sesuai standar dengan nilai berturut-turut sebesar 4,61%, 4,53%, dan 3,95%.
3. *Void filled with bitumen* (VFB) pada kadar aspal 4,5%, dan 5,0% secara berurutan dengan nilai dengan nilai 53,22%, dan 61,86% belum memenuhi syarat minimum sebesar 65%. Sementara itu, kadar aspal 5,5%, 6,0%, dan 6,5% memberikan hasil yang memenuhi spesifikasi, yaitu 69,99%, 72,25%, dan 76,54%.
4. Stabilitas tertinggi tercatat pada kadar aspal 6,5% dengan nilai 1300,0 kg, sementara stabilitas terendah muncul pada kadar aspal 4,5% sebesar 966,7 kg.
5. *Flow* (pelehan) untuk kadar aspal 4,5% dengan nilai 4,23 belum memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan yaitu antara 2 mm hingga 4 mm.

Sementara itu, kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0 %, dan 6,5% memberikan hasil yang memenuhi spesifikasi, yaitu 3,60 mm, 3,63 mm, 3,70 mm, dan 3,87 mm.

6. *Marshall Quotient (MQ)* tertinggi tercapai pada kadar aspal 6,0% yaitu dengan nilai 336,9 kg/mm. Adapun nilai MQ terendah diperoleh pada kadar aspal 4,5% yaitu sebesar 233,2 kg/mm.

Tabel 4. 33 Pengujian Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 100%

B3 Campuran Maksimum (GPM)		2,463		UJI CAMPURAN DENGAN ALAT MARSHALL										B3 Aspal		L040																																																																																																																																																																																													
Kadar Aspal GPM		5,5												Absorbat Aspal		0,569																																																																																																																																																																																													
B3 Gabungan Agg. Buk		2,637												Kal. Proving ring		2,5																																																																																																																																																																																													
B3 Agg. Efektif		2,676																																																																																																																																																																																																											
Kode Bukit	Kadar Aspal		Berasi Rendu U1			Berasi Rendu U2		Berasi Rendu U3	Berasi Rendu U4	Berasi Rendu U5	Berasi Rendu U6	Berasi Rendu U7	Berasi Rendu U8	Berasi Rendu U9	Berasi Rendu U10	Berasi Rendu U11	Berasi Rendu U12	Berasi Rendu U13	Berasi Rendu U14	Berasi Rendu U15	Berasi Rendu U16	Berasi Rendu U17	Berasi Rendu U18	Berasi Rendu U19	Berasi Rendu U20	Berasi Rendu U21	Berasi Rendu U22	Berasi Rendu U23	Berasi Rendu U24	Berasi Rendu U25	Berasi Rendu U26	Berasi Rendu U27	Berasi Rendu U28	Berasi Rendu U29	Berasi Rendu U30	Berasi Rendu U31	Berasi Rendu U32	Berasi Rendu U33	Berasi Rendu U34	Berasi Rendu U35	Berasi Rendu U36	Berasi Rendu U37	Berasi Rendu U38	Berasi Rendu U39	Berasi Rendu U40	Berasi Rendu U41	Berasi Rendu U42	Berasi Rendu U43	Berasi Rendu U44	Berasi Rendu U45	Berasi Rendu U46	Berasi Rendu U47	Berasi Rendu U48	Berasi Rendu U49	Berasi Rendu U50	Berasi Rendu U51	Berasi Rendu U52	Berasi Rendu U53	Berasi Rendu U54	Berasi Rendu U55	Berasi Rendu U56	Berasi Rendu U57	Berasi Rendu U58	Berasi Rendu U59	Berasi Rendu U60	Berasi Rendu U61	Berasi Rendu U62	Berasi Rendu U63	Berasi Rendu U64	Berasi Rendu U65	Berasi Rendu U66	Berasi Rendu U67	Berasi Rendu U68	Berasi Rendu U69	Berasi Rendu U70	Berasi Rendu U71	Berasi Rendu U72	Berasi Rendu U73	Berasi Rendu U74	Berasi Rendu U75	Berasi Rendu U76	Berasi Rendu U77	Berasi Rendu U78	Berasi Rendu U79	Berasi Rendu U80	Berasi Rendu U81	Berasi Rendu U82	Berasi Rendu U83	Berasi Rendu U84	Berasi Rendu U85	Berasi Rendu U86	Berasi Rendu U87	Berasi Rendu U88	Berasi Rendu U89	Berasi Rendu U90	Berasi Rendu U91	Berasi Rendu U92	Berasi Rendu U93	Berasi Rendu U94	Berasi Rendu U95	Berasi Rendu U96	Berasi Rendu U97	Berasi Rendu U98	Berasi Rendu U99	Berasi Rendu U100	Berasi Rendu U101	Berasi Rendu U102	Berasi Rendu U103	Berasi Rendu U104	Berasi Rendu U105	Berasi Rendu U106	Berasi Rendu U107	Berasi Rendu U108	Berasi Rendu U109	Berasi Rendu U110	Berasi Rendu U111	Berasi Rendu U112	Berasi Rendu U113	Berasi Rendu U114	Berasi Rendu U115	Berasi Rendu U116	Berasi Rendu U117	Berasi Rendu U118	Berasi Rendu U119	Berasi Rendu U120	Berasi Rendu U121	Berasi Rendu U122	Berasi Rendu U123	Berasi Rendu U124	Berasi Rendu U125	Berasi Rendu U126	Berasi Rendu U127	Berasi Rendu U128	Berasi Rendu U129	Berasi Rendu U130	Berasi Rendu U131	Berasi Rendu U132	Berasi Rendu U133	Berasi Rendu U134	Berasi Rendu U135	Berasi Rendu U136	Berasi Rendu U137	Berasi Rendu U138	Berasi Rendu U139	Berasi Rendu U140	Berasi Rendu U141	Berasi Rendu U142	Berasi Rendu U143	Berasi Rendu U144	Berasi Rendu U145	Berasi Rendu U146	Berasi Rendu U147	Berasi Rendu U148	Berasi Rendu U149	Berasi Rendu U150	Berasi Rendu U151	Berasi Rendu U152	Berasi Rendu U153	Berasi Rendu U154	Berasi Rendu U155	Berasi Rendu U156	Berasi Rendu U157	Berasi Rendu U158	Berasi Rendu U159	Berasi Rendu U160	Berasi Rendu U161	Berasi Rendu U162	Berasi Rendu U163	Berasi Rendu U164	Berasi Rendu U165	Berasi Rendu U166	Berasi Rendu U167	Berasi Rendu U168	Berasi Rendu U169	Berasi Rendu U170	Berasi Rendu U171	Berasi Rendu U172	Berasi Rendu U173	Berasi Rendu U174	Berasi Rendu U175	Berasi Rendu U176	Berasi Rendu U177	Berasi Rendu U178	Berasi Rendu U179	Berasi Rendu U180	Berasi Rendu U181	Berasi Rendu U182	Berasi Rendu U183	Berasi Rendu U184	Berasi Rendu U185	Berasi Rendu U186	Berasi Rendu U187	Berasi Rendu U188	Berasi Rendu U189	Berasi Rendu U190	Berasi Rendu U191	Berasi Rendu U192	Berasi Rendu U193	Berasi Rendu U194	Berasi Rendu U195	Berasi Rendu U196	Berasi Rendu U197	Berasi Rendu U198	Berasi Rendu U199	Berasi Rendu U200

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall* dengan substitusi *filler* kerak tungku pembakaran genteng 100%, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4. 33, diperoleh data sebagai berikut:

1. *Volume void* dalam agregat (VMA) pada campuran substitusi *filler* kerak tungku pembakaran genteng 100% menunjukkan hasil sesuai spesifikasi, yakni minimal 15% pada seluruh variasi kadar aspal yang diuji.
2. *Void* dalam campuran (VIM) untuk variasi kadar aspal 4,5% dengan nilai 6,47% tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan (3%-5%). Namun, untuk kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% hasilnya sesuai standar dengan nilai berturut-turut sebesar 4,97%, 4,68%, 3,98%, dan 4,24%.
3. *Void filled with bitumen* (VFB) pada kadar aspal 4,5% dengan nilai dengan nilai 58,02% belum memenuhi syarat minimum sebesar 65%. Sementara itu, kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% memberikan hasil yang memenuhi spesifikasi, yaitu 67,04%, 70,60%, 75,62%, dan 75,89%.

4. Stabilitas tertinggi tercatat pada kadar aspal 5,0% dengan nilai 1200,0 kg, sementara stabilitas terendah muncul pada kadar aspal 4,5% dan 6,0% dengan nilai yang sama sebesar 1025,0 kg. Meskipun demikian, seluruh hasil stabilitas telah memenuhi batas minimum yang disyaratkan, yaitu 1000 kg.
5. *Flow* (pelelehan) untuk seluruh kadar aspal yang diuji berada dalam rentang yang disyaratkan, yaitu antara 2 mm hingga 4 mm.
6. *Marshall Quotient* (MQ) tertinggi tercapai pada kadar aspal 6,0% yaitu dengan nilai 414,9 kg/mm. Adapun nilai MQ terendah diperoleh pada kadar aspal 6,0% yaitu sebesar 267,3 kg/mm.

Data dari hasil Marshall yang ditampilkan pada tabel di atas selanjutnya dimanfaatkan untuk menyusun grafik menggunakan rumus tertentu. Langkah ini dilakukan untuk mengevaluasi keterkaitan antara berbagai variabel, seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*, dengan tujuan menentukan kadar aspal optimum (KAO).

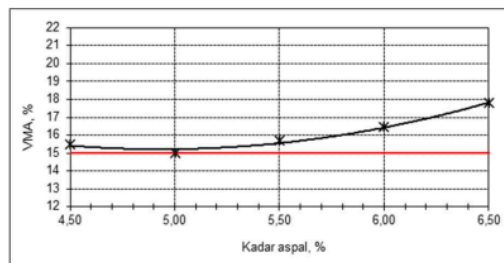
Dengan keterangan :

b	: %aspal terhadap campuran	(%)	
c	: Berat contoh kering	(gr)	
d	: Berat contoh keadaan jenuh (ssd)	(gr)	
e	: Berat contoh dalam air	(gr)	
f	: Isi contoh	(cc)	$= d - e$
g	: Berat isi	(gr/cc)	$= \frac{c}{f}$
h	: Berat jenis maksimum (teoritis)		$= \frac{100}{\frac{100 - b}{Bj. \text{ agregat efektif}} + \frac{b}{Bj. \text{ aspal}}}$
	*Bj. Agg efektif		$= \frac{100}{\frac{100 - Pb}{Gmm Bj. \text{ aspal}}}$
i	: Rongga diantara agregat (VMA)	(%)	$= 100 \frac{(100 - a) \times g}{Bj. \text{ gabungan agg. bulk}}$
j	: Rongga terdapat di campuran (VIM)	(%)	$= 100 - \left(\frac{g}{h}\right)$
k	: Rongga terisi aspal (VFB)	(%)	$= \frac{100 \times (i - j)}{i}$

- l : Pembacaan arloji stabilitas
- m : Stabilitas x kal. Proving ring $= k \times \text{kal. proving ring}$
- n : Stabilitas x koreksi (kg) $= l \times 1$
- o : Pelelehan (flow) (mm)
- p : Hasil bagi Marshall (MQ) (kg/mm) $= \frac{n}{o}$

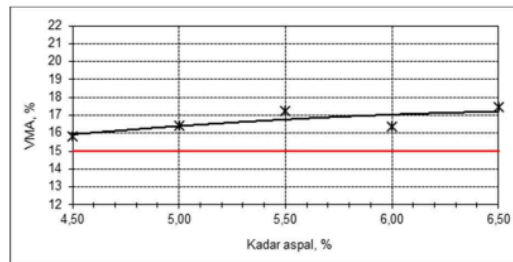
4.8.3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

VMA (*Void in Mineral Aggregate*) menggambarkan volume rongga di antara butiran agregat dalam campuran yang telah dipadatkan, termasuk ruang yang terisi oleh aspal, dan dinyatakan dalam persentase terhadap volume total campuran. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti gradasi agregat, kadar aspal, jumlah tumbukan, serta suhu saat proses pemadatan. Visualisasi hasil pengujian VMA ditampilkan pada grafik berikut:



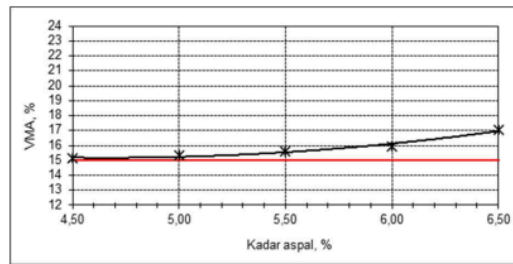
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-VMA
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian nilai VMA pada campuran yang menggunakan filler batu kapur menunjukkan nilai masing-masing sebesar 15,49%, 15,03%, 15,69%, 16,44%, dan 17,80% untuk kadar aspal berkisar antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi batas minimum VMA sebesar 15% sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.



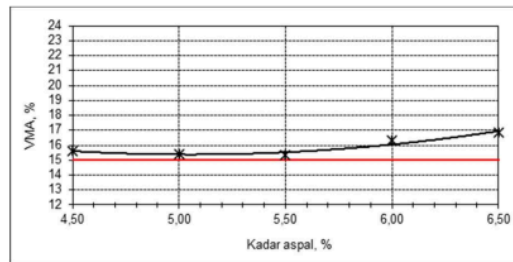
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-VMA
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian nilai VMA pada campuran yang menggunakan filler batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 25% menunjukkan nilai masing-masing sebesar 18,84%, 16,43%, 17,23%, 16,40%, dan 17,46% untuk kadar aspal berkisar antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi batas minimum VMA sebesar 15% sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.



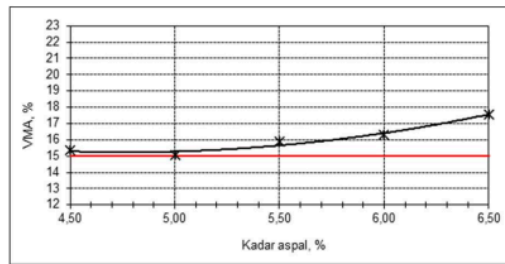
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-VMA
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian nilai VMA pada campuran yang menggunakan filler batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 50% menunjukkan nilai masing-masing sebesar 15,12%, 15,35, 15,59%, 15,95%, dan 17,04% untuk kadar aspal berkisar antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi batas minimum VMA sebesar 15% sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-VMA
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian nilai VMA pada campuran yang menggunakan filler batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 75% menunjukkan nilai masing-masing sebesar 15,63%, 15,40%, 15,32%, 16,31%, dan 16,85% untuk kadar aspal berkisar antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi batas minimum VMA sebesar 15% sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.

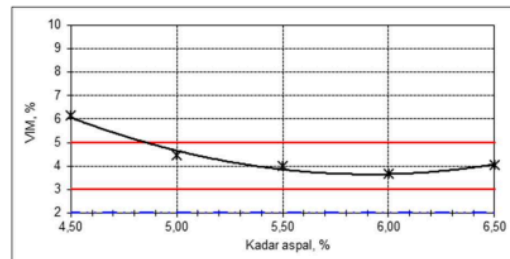


Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-VMA
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian nilai VMA pada campuran yang menggunakan filler kerak tungku pembakaran genteng 100% menunjukkan nilai masing-masing sebesar 15,36%, 15,08%, 15,88%, 16,31%, dan 17,58% untuk kadar aspal berkisar antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi batas minimum VMA sebesar 15% sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.

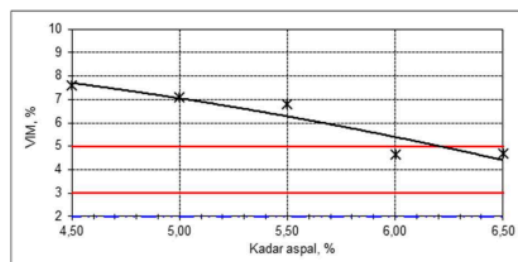
4.8.4 ¹ Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

VIM (*Void in Mix*) merupakan volume rongga udara yang masih terdapat dalam campuran aspal setelah melalui proses pemadatan. Parameter ini digunakan untuk menentukan persentase pori-pori yang belum terisi dalam campuran tersebut. Nilai VIM yang tinggi mengindikasikan banyaknya rongga yang tersisa, yang dapat menyebabkan berkurangnya ketahanan campuran terhadap penetrasi air. Nilai hasil pengujian VIM ditampilkan pada grafik berikut:



Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-VMA
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

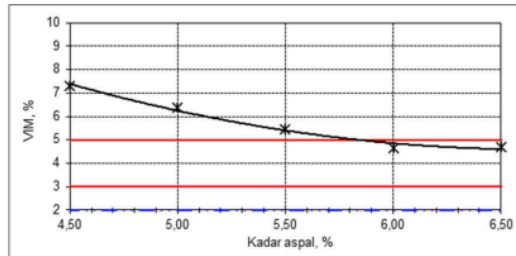
¹⁸ Pengujian nilai VIM pada campuran yang menggunakan filler batu kapur menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 6,15%, 4,45%, 4,00%, 3,67%, dan 4,04% untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Akan tetapi, pada kadar aspal 4,5% nilai VIM melebihi batas yang diperbolehkan, yaitu antara 3% sampai 5%, sehingga tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku.



¹¹ Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-VIM
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

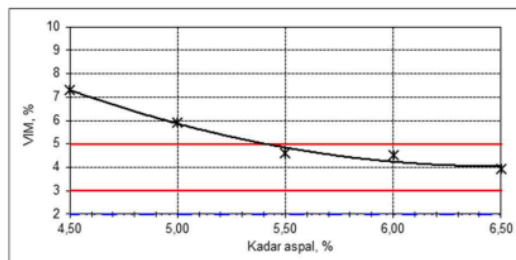
¹⁸ Pengujian nilai VIM pada campuran yang menggunakan filler batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 25% menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 7,60%, 7,08%, 6,80%, 4,67%, dan 4,69% untuk kadar

aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Akan tetapi, pada kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 5,5% nilai VIM melebihi batas yang diperbolehkan, yaitu antara 3% sampai 5%, sehingga tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku.



11 Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-VIM
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

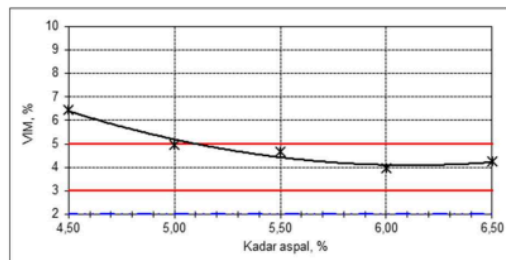
18 Pengujian nilai VIM pada campuran yang menggunakan filler batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 50% menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 7,32%, 6,38%, 5,46%, 4,66%, dan 4,70% untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Akan tetapi, pada kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 5,5% nilai VIM melebihi batas yang diperbolehkan, yaitu antara 3% sampai 5%, sehingga tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku.



11 Gambar 4. 12 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-VIM
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

18 Pengujian nilai VIM pada campuran yang menggunakan filler batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 75% menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 7,33%, 5,90%, 4,61%, 4,53%, dan 3,95% untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Akan tetapi, pada kadar aspal 4,5%, dan 5,0%

nilai VIM melebihi batas yang diperbolehkan, yaitu antara 3% sampai 5%, sehingga tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

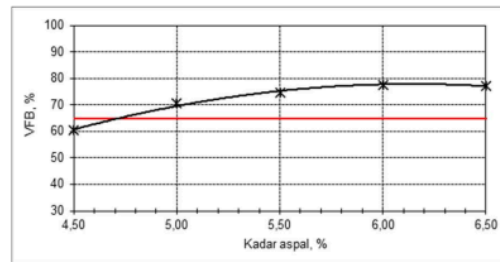


11 Gambar 4. 13 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-VIM
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

18 Pengujian nilai VIM pada campuran yang menggunakan filler kerak tungku pembakaran genteng 100% menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 6,47%, 4,97%, 4,68%, 3,98%, dan 4,24% untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Akan tetapi, pada kadar aspal 4,5% nilai VIM melebihi batas yang diperbolehkan, yaitu antara 3% sampai 5%, sehingga tidak sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

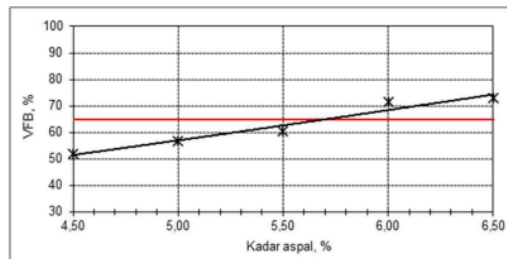
1 4.8.5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

VFB (*Void Filled with Bitumen*) mengacu pada persentase volume aspal yang mengisi rongga-rongga di antara agregat setelah proses pemadatan berlangsung. Dengan kata lain, VFB menunjukkan seberapa besar pori-pori dalam campuran yang telah terisi oleh aspal. Semakin tinggi nilai VFB, semakin banyak rongga yang terisi, sehingga campuran menjadi lebih rapat dan tahan terhadap penetrasi air maupun udara. Sebaliknya, nilai VFB yang rendah menandakan sedikitnya aspal mengisi pori-pori, yang dapat mengakibatkan campuran mudah teroksidasi dan berdampak pada penurunan daya tahan lapisan perkerasan. Grafik berikut menyajikan hasil pengujian nilai VFB secara lebih rinci:



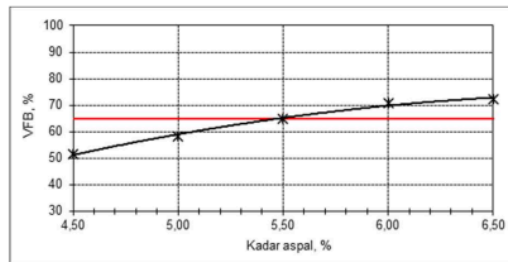
Gambar 4. 14 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-VFB
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil uji VFB pada campuran dengan *filler* batu kapur menunjukkan persentase sebesar 60,35%, 70,63%, 74,63%, 77,70%, dan 77,30% untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Berdasarkan data tersebut, nilai VFB pada kadar aspal 4,5% masih berada di bawah ambang batas minimum sebesar 65%, sehingga kadar aspal tersebut dinyatakan belum memenuhi standar kelayakan yang ditetapkan.



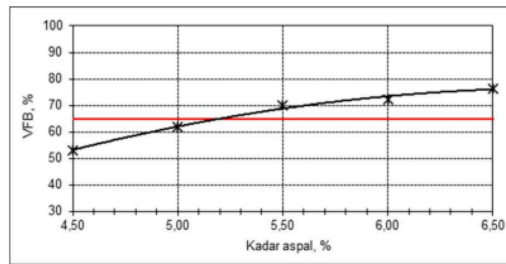
11
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-VFB
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil uji VFB pada campuran dengan *filler* batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 25% menunjukkan persentase sebesar 52,02%, 56,89%, 60,53%, 71,51%, dan 73,14% untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Berdasarkan data tersebut, nilai VFB pada kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 5,5% masih berada di bawah ambang batas minimum sebesar 65%, sehingga kadar aspal tersebut dinyatakan belum memenuhi standar kelayakan yang ditetapkan.



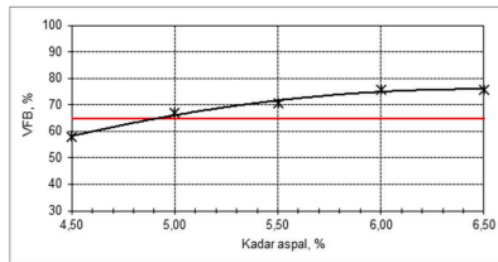
11
Gambar 4. 16 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-VFB
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil uji VFB pada campuran dengan *filler* batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 50% menunjukkan persentase sebesar 51,68%, 58,42%, 65,01%, 70,80%, dan 72,43% untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Berdasarkan data tersebut, nilai VFB pada kadar aspal 4,5%, dan 5,0% masih berada di bawah ambang batas minimum sebesar 65%, sehingga kadar aspal tersebut dinyatakan belum memenuhi standar kelayakan yang ditetapkan.



11
Gambar 4. 17 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-VFB
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil uji VFB pada campuran dengan *filler* batu kapur dengan substitusi kerak tungku pembakaran genteng 75% menunjukkan persentase sebesar 53,22%, 61,86%, 69,99%, 72,25%, dan 76,54% untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Berdasarkan data tersebut, nilai VFB pada kadar aspal 4,5%, dan 5,0% masih berada di bawah ambang batas minimum sebesar 65%, sehingga kadar aspal tersebut dinyatakan belum memenuhi standar kelayakan yang ditetapkan.

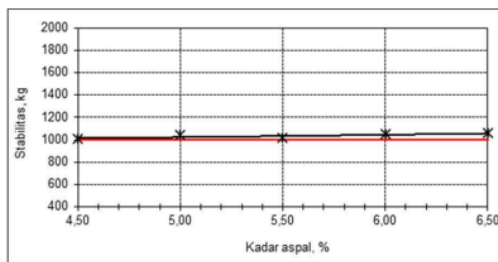


11
Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-VFB
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil uji VFB pada campuran dengan *filler* kerak tungku pembakaran genteng 100% menunjukkan persentase sebesar 58,02%, 67,04%, 70,60%, 75,62%, dan 75,89% untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Berdasarkan data tersebut, nilai VFB pada kadar aspal 4,5% masih berada di bawah ambang batas minimum sebesar 65%, sehingga kadar aspal tersebut dinyatakan belum memenuhi standar kelayakan yang ditetapkan.

4.8.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

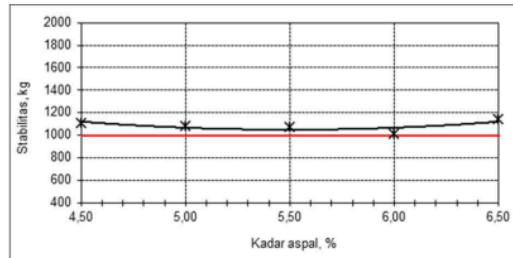
Stabilitas berfungsi untuk mengukur sejauh mana kekuatan **perkerasan** dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan **permanen** seperti gelombang, alur, atau *bleeding*. Besarnya nilai **stabilitas** mencerminkan sejauh mana suatu campuran mampu menahan deformasi akibat beban yang diberikan. Hasil pengujian terhadap stabilitas ditampilkan pada grafik **berikut**:



18
Gambar 4. 19 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-Stabilitas
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

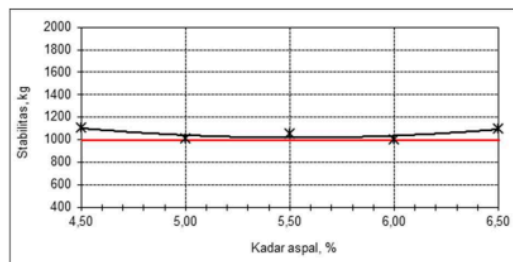
Dari hasil pengujian stabilitas campuran dengan menggunakan *filler* batu kapur memperlihatkan **nilai** yang cukup **stabil**, dengan nilai masing-masing sebesar 1008,3 kg, 1041,7 kg, 1016,7 kg, 1050,0 kg, dan 1058,3 kg pada kadar

aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh hasil tersebut berada di atas ambang batas minimum stabilitas sebesar 1000 kg, yang menunjukkan bahwa campuran memenuhi kriteria stabilitas yang dipersyaratkan.



11 Gambar 4. 20 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-Stabilitas (Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

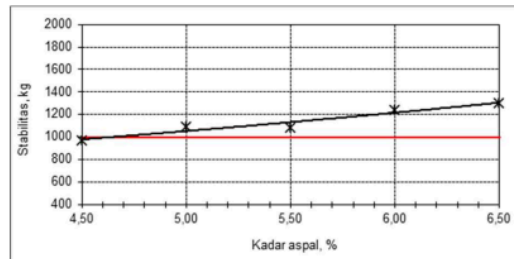
Pada variasi kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%, hasil pengujian stabilitas campuran dengan *filler* batu kapur yang disubstitusi 25% kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan nilai yang cukup konsisten dan tinggi, yaitu 1108,3 kg, 1083,3 kg, 1075,0 kg, 1016,7 kg, dan 1141,7 kg. Seluruh hasil tersebut berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan sebesar 1000 kg, sehingga campuran ini dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas yang ditentukan.



11 Gambar 4. 21 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-Stabilitas (Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

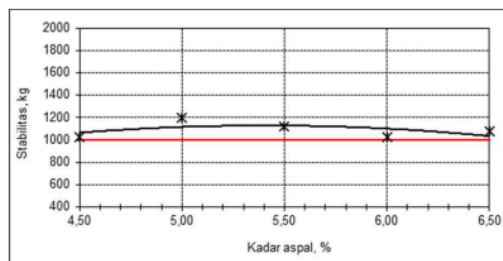
Pada variasi kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%, hasil pengujian stabilitas campuran dengan *filler* batu kapur yang disubstitusi 50% kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan nilai yang cukup konsisten dan tinggi, yaitu 1108,3 kg, 1016,7 kg, 1058,3 kg, 1008,3 kg, dan 1100,0 kg. Seluruh hasil tersebut berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan

sebesar 1000 kg, sehingga campuran ini dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas yang ditentukan.



Gambar 4. 22 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-Stabilitas
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Pada variasi kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%, hasil pengujian stabilitas campuran dengan *filler* batu kapur yang disubstitusi 75% kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan nilai yang cukup konsisten dan tinggi, yaitu 966,7 kg, 1091,7 kg, 1083,3 kg, 1241,7 kg, dan 1300,0 kg. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada kadar aspal 4,5%, nilai stabilitas belum mencapai batas minimum yang disyaratkan yaitu 1000 kg, sementara pada kadar aspal lainnya, nilai stabilitas telah memenuhi ketentuan yang berlaku.



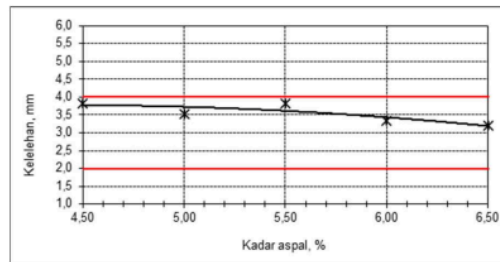
11
Gambar 4. 23 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-Stabilitas
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Pada variasi kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%, hasil pengujian stabilitas campuran dengan *filler* 100% kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan nilai yang cukup konsisten dan tinggi, yaitu 1025,0 kg, 1200,0 kg, 1125,0 kg, 1025,0 kg, dan 1075,0 kg. Seluruh hasil tersebut berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan

sebesar 1000 kg, sehingga campuran ini dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas yang ditentukan.

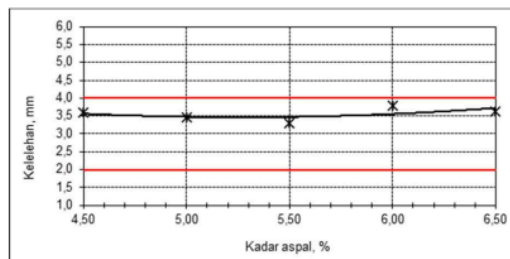
4.8.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Flow atau pelehan merupakan besarnya deformasi vertikal yang terjadi selama proses pembebanan hingga mencapai beban maksimum. Pengukuran *flow* dilakukan bersamaan dengan pengukuran stabilitas Marshall. Nilai *flow* yang terlalu rendah cenderung menyebabkan perkerasan menjadi rapuh dan mudah retak, sedangkan nilai *flow* yang terlalu tinggi menyebabkan perkerasan menjadi terlalu plastis dan mudah berubah bentuk saat menerima beban. Hasil pengujian terhadap *flow* ditampilkan pada grafik berikut:



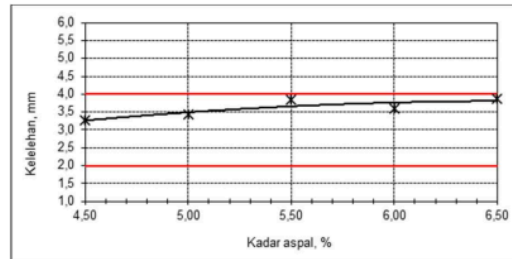
Gambar 4. 24 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-Flow (Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Pengujian nilai *flow* pada campuran yang menggunakan filler batu kapur menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 3,83 mm, 3,53 mm, 3,83 mm, 3,33 mm, dan 3,20 mm untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Seluruh hasil tersebut berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan sebesar 2 mm hingga 4 mm, sehingga campuran ini dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas yang ditentukan.



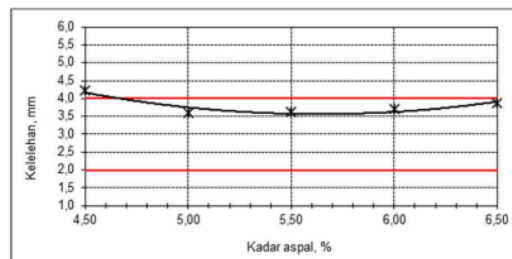
Gambar 4. 25 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-Flow (Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Pengujian nilai *flow* pada campuran yang menggunakan substitusi *filler* batu kapur dengan kerak tungku pembakaran genteng 25% menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 3,60 mm, 3,47 mm, 3,30 mm, 3,80 mm, dan 3,63 mm untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Seluruh hasil tersebut berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan sebesar 2 mm hingga 4 mm, sehingga campuran ini dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas yang ditentukan.



11 Gambar 4. 26 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-Flow
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

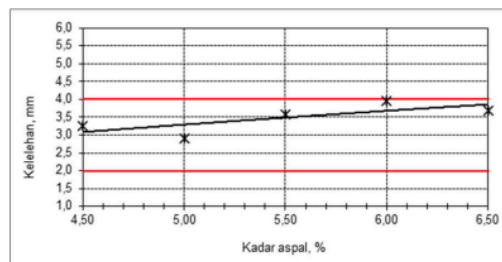
Pengujian nilai *flow* pada campuran yang menggunakan substitusi *filler* batu kapur dengan kerak tungku pembakaran genteng 50% menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 3,27 mm, 3,43 mm, 3,83 mm, 3,60 mm, dan 3,87 mm untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Seluruh hasil tersebut berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan sebesar 2 mm hingga 4 mm, sehingga campuran ini dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas yang ditentukan.



11 Gambar 4. 27 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-Flow
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Pengujian nilai *flow* pada campuran yang menggunakan substitusi *filler* batu kapur dengan kerak tungku pembakaran genteng 75% menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 4,23 mm, 3,60 mm, 3,63 mm, 3,70 mm, dan 3,87 mm untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada kadar aspal 4,5%, nilai *flow* belum mencapai batas

minimum yang disyaratkan yaitu 2 mm hingga 4 mm, sementara pada kadar aspal lainnya, nilai flow telah memenuhi ketentuan yang berlaku.

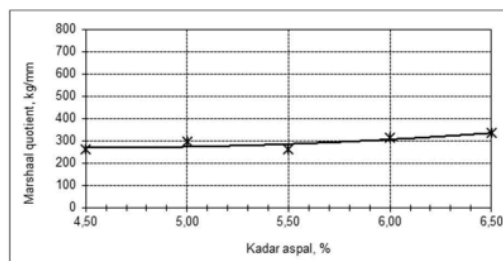


11 Gambar 4. 28 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-Flow
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Pengujian nilai *flow* pada campuran yang menggunakan kerak tungku pembakar genteng 100% menghasilkan nilai berturut-turut sebesar 3,27 mm, 2,90 mm, 3,57 mm, 3,97 mm, dan 3,70 mm untuk kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5%. Seluruh hasil tersebut berada di *filler* atas batas minimum yang dipersyaratkan sebesar 2 mm hingga 4 mm, sehingga campuran ini dinyatakan memenuhi kriteria stabilitas yang ditentukan.

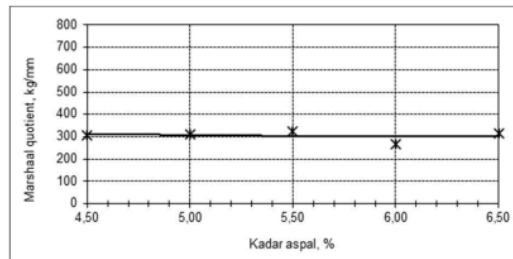
4.8.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient*

Marshall Quotient (MQ) merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dengan *flow* yang digunakan untuk menilai kekuatan serta fleksibilitas dari campuran aspal beton. Nilai MQ mencerminkan karakteristik kekakuan perkerasan, campuran dengan nilai MQ yang tinggi cenderung bersifat kaku dan mudah retak, sedangkan nilai MQ yang rendah menandakan campuran yang lebih lentur dan plastis, yang berpotensi mengalami deformasi ketika menerima beban lalu lintas yang besar. Grafik di bawah ini memperlihatkan hubungan antara kadar aspal dengan nilai dengan nilai *Marshall Quotient*:



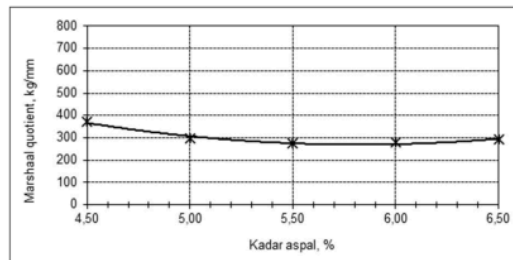
18 Gambar 4. 29 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Batu Kapur-MQ
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian nilai MQ pada campuran yang menggunakan filler batu kapur menunjukkan nilai masing-masing sebesar 263,91 kg/mm, 295,41 kg/mm, 262,55 kg/mm, 316,59 kg/mm, dan 334,63 kg/mm untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.



Gambar 4. 30 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 25%-MQ (Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

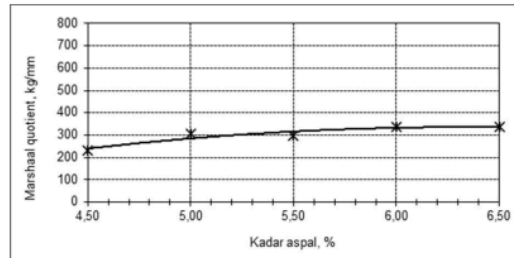
Hasil pengujian nilai MQ pada campuran yang menggunakan substitusi filler batu kapur dengan kerak tungku pembakaran 25% menunjukkan nilai masing-masing sebesar 306,97 kg/mm, 311,92 kg/mm, 326,11 kg/mm, 266,40 kg/mm, dan 214,95 kg/mm untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.



Gambar 4. 31 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 50%-MQ (Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

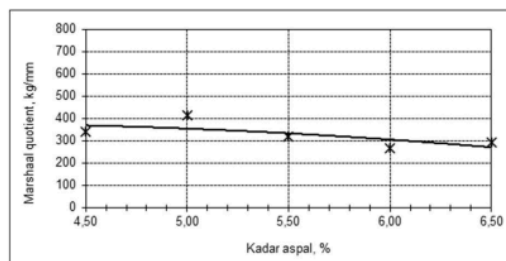
Hasil pengujian nilai MQ pada campuran yang menggunakan substitusi filler batu kapur dengan kerak tungku pembakaran 50% menunjukkan nilai masing-masing sebesar 371,63 kg/mm, 297,34 kg/mm, 277,35 kg/mm, 279,09

kg/mm, dan 201,67 kg/mm untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.



Gambar 4. 32 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 75%-MQ
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian nilai MQ pada campuran yang menggunakan substitusi *filler* batu kapur dengan kerak tungku pembakaran 75% menunjukkan nilai masing-masing sebesar 233,19 kg/mm, 304,52 kg/mm, 298,97 kg/mm, 336,90 kg/mm, dan 236,58 kg/mm untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.



Gambar 4. 33 Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Kerak 100%-MQ
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Hasil pengujian nilai MQ pada campuran yang menggunakan *filler* kerak tungku pembakaran 100% menunjukkan nilai masing-masing sebesar 341,89 kg/mm, 414,90 kg/mm, 317,15 kg/mm, 267,27 kg/mm, dan 292,88 kg/mm untuk kadar aspal antara 4,5% hingga 6,5%. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) untuk campuran aspal jenis AC-WC.

4.8.9 Rekapitulasi Pengujian Marshall

Ringkasan hasil uji *Marshall* yang membandingkan penggunaan batu kapur sebagai *filler* dengan kerak tungku pembakaran genteng sebagai bahan alternatif pengganti *filler*, disertai acuan dari Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018:

Tabel 4. 34 Rekapitulasi Marshall Filler Batu Kapur

No.	Karakteristik Marshall	Kadar Aspal					Min	Max	Keterangan
		4,5	5	5,5	6	6,5			
1	VMA (%)	15,49	15,03	15,69	16,44	17,80	15	-	Memenuhi
2	VIM (%)	6,15	4,45	4,00	3,67	4,04	3	5	Memenuhi
3	VFB (%)	60,35	70,63	74,63	77,70	77,30	65	-	Memenuhi
4	Stabilitas (kg)	1008,3	1041,7	1016,7	1050,0	1058,3	1000	-	Memenuhi
5	Flow (mm)	3,83	3,53	3,83	3,33	3,20	2	4	Memenuhi
6	MQ (kg/mm)	263,90	295,40	262,60	316,60	334,60	-	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall*, penggunaan batu kapur sebagai *filler* menunjukkan bahwa parameter VMA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* (MQ) telah memenuhi standar yang ditetapkan. Namun, pada kadar aspal 4,5%, nilai VIM sebesar 6,15% dan VFB sebesar 60,65% masih berada di bawah ambang batas minimum yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Tabel 4. 35 Rekapitulasi Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 25%

No.	Karakteristik Marshall	Kadar Aspal					Min	Max	Keterangan
		4,5	5	5,5	6	6,5			
1	VMA (%)	15,84	16,43	17,23	16,40	17,46	15	-	Memenuhi
2	VIM (%)	7,60	7,08	6,80	4,67	4,69	3	5	Memenuhi
3	VFB (%)	52,02	56,89	60,53	71,51	73,14	65	-	Memenuhi
4	Stabilitas (kg)	1108,3	1083,3	1075,0	1016,7	1141,7	1000	-	Memenuhi
5	Flow (mm)	3,60	3,47	3,30	3,80	3,63	2	4	Memenuhi
6	MQ (kg/mm)	306,97	311,92	326,11	266,40	314,95	-	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall*, substitusi *filler* batu kapur dengan 25% kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan bahwa parameter VMA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* (MQ) telah memenuhi standar yang ditetapkan. Namun, pada kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 5,5% nilai VIM masing-masing sebesar 7,60%, 7,08%, dan 6,80% serta VFB sebesar 52,02%, 56,89%, dan 60,53% masih berada di bawah ambang batas minimum yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Tabel 4. 36 Rekapitulasi Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 50%

Filler Batu Kapur 50% + Kerak Tungku Pembakaran Genteng 50%									
No.	Karakteristik Marshall	Kadar Aspal				Min	Max	Keterangan	
		4,5	5	5,5	6				6,5
1	VMA (%)	15,12	15,35	15,59	15,95	17,04	15	-	Memenuhi
2	VIM (%)	7,32	6,38	5,46	4,66	4,70	3	5	Memenuhi
3	VFB (%)	51,68	58,42	65,01	70,80	72,43	65	-	Memenuhi
4	Stabilitas (kg)	1108,3	1016,7	1058,3	1008,3	1100,0	1000	-	Memenuhi
5	Flow (mm)	3,27	3,43	3,83	3,60	3,87	2	4	Memenuhi
6	MQ (kg/mm)	371,63	297,34	277,35	279,09	291,67	-	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall*, substitusi *filler* batu kapur dengan 50% kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan bahwa parameter VMA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* (MQ) telah memenuhi standar yang ditetapkan. Namun, pada kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 5,5% nilai VIM masing-masing sebesar 7,32%, 6,38%, dan 5,46%, serta nilai VFB pada kadar aspal 4,5% dan 5,0% sebesar 51,68%, dan 58,42% masih berada di bawah ambang batas minimum yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Tabel 4. 37 Rekapitulasi Marshall Substitusi Filler Kerak Tungku 75%

Filler Batu Kapur 25% + Kerak Tungku Pembakaran Genteng 75%									
No.	Karakteristik Marshall	Kadar Aspal				Min	Max	Keterangan	
		4,5	5	5,5	6				6,5
1	VMA (%)	15,63	15,40	15,32	16,31	16,85	15	-	Memenuhi
2	VIM (%)	7,33	5,90	4,61	4,53	3,95	3	5	Memenuhi
3	VFB (%)	53,22	61,86	69,99	72,25	76,54	65	-	Memenuhi
4	Stabilitas (kg)	966,7	1091,7	1083,3	1241,7	1300,0	1000	-	Memenuhi
5	Flow (mm)	4,23	3,60	3,63	3,70	3,87	2	4	Memenuhi
6	MQ (kg/mm)	233,19	304,52	298,97	336,90	336,58	-	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall*, substitusi *filler* batu kapur dengan 75% kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan bahwa parameter VMA dan *Marshall Quotient* (MQ) telah memenuhi standar yang ditetapkan. Namun, pada kadar aspal 4,5%, dan 5,0% nilai VIM masing-masing sebesar 7,33%, dan 5,90%, nilai VFB sebesar 53,22%, dan 61,86%, serta nilai Stabilitas sebesar 966,7 kg dan nilai *flow* sebesar 4,23 mm pada kadar aspal 4,5% masih berada di bawah ambang batas minimum yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Tabel 4. 38 Rekapitulasi Marshall Filler Kerak Tungku 100%

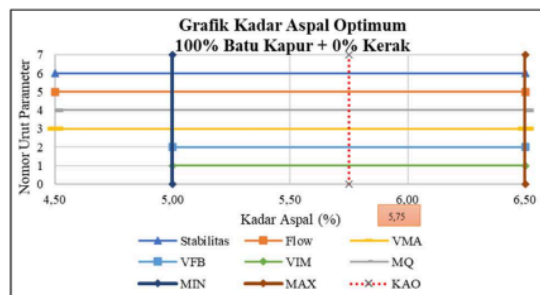
No.	Karakteristik Marshall	Kadar Aspal					Min	Max	Keterangan
		4,5	5	5,5	6	6,5			
1	VMA (%)	15,36	15,08	15,88	16,31	17,58	15	-	Memenuhi
2	VIM (%)	6,47	4,97	4,68	3,98	4,24	3	5	Memenuhi
3	VFB (%)	58,02	67,04	70,60	75,62	75,89	65	-	Memenuhi
4	Stabilitas (kg)	1025,0	1200,0	1125,0	1025,0	1075,0	1000	-	Memenuhi
5	Flow (mm)	3,27	2,90	3,57	3,97	3,70	2	4	Memenuhi
6	MQ (kg/mm)	341,89	414,90	317,15	267,27	292,88	-	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan hasil uji *Marshall*, penggunaan kerak tungku pembakaran genteng sebagai *filler* menunjukkan bahwa parameter VMA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* (MQ) telah memenuhi standar yang ditetapkan. Namun, pada kadar aspal 4,5%, nilai VIM sebesar 6,47% dan VFB sebesar 58,02% masih berada di bawah ambang batas minimum yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

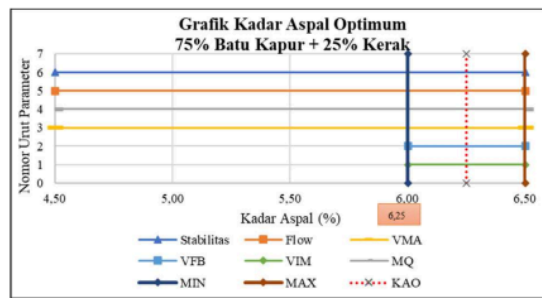
4.9 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum merupakan takaran aspal dalam campuran yang mampu memenuhi kriteria Stabilitas, *flow*, VMA, VFB, kepadatan, dan *Marshall Quotient*. Penetapan kadar aspal optimum ini bertujuan untuk menentukan jumlah aspal efektif yang dibutuhkan dalam campuran, sehingga dapat digunakan untuk membuat benda uji baru dengan komposisi agregat yang serupa namun menggunakan kadar aspal optimum yang telah ditetapkan.



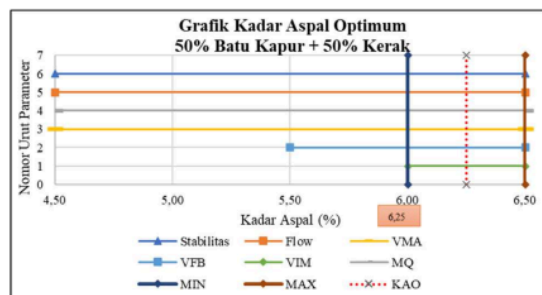
Gambar 4. 34 Grafik Kadar Aspal Optimum Filler Batu Kapur (Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan Gambar 4. 2, kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *filler* batu kapur diperoleh nilai sebesar 5,75%. Penentuan nilai KAO dilakukan dengan mengambil titik tengah dari rentang kadar aspal minimum dan maksimum yang memenuhi kriteria persyaratan.



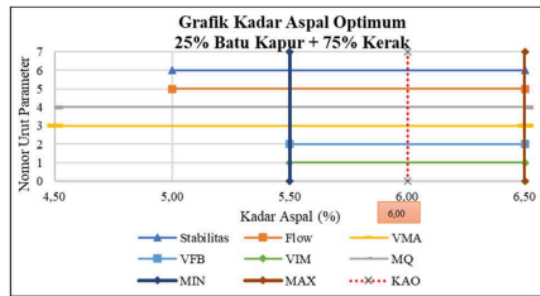
1
Gambar 4. 35 Grafik Kadar Aspal Optimum Substitusi Filler Kerak 25%
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

18
Berdasarkan Gambar 4. 3 kadar aspal optimum (KAO) pada campuran dengan substitusi 25% filler kerak tungku pembakaran genteng dengan batu kapur diperoleh nilai sebesar 6,25%.



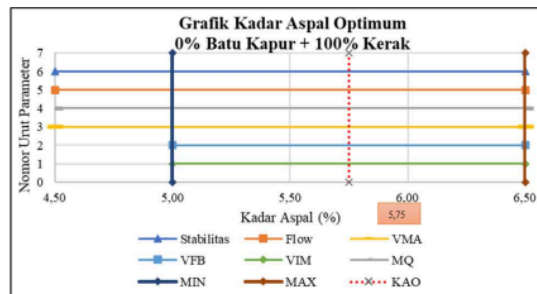
Gambar 4. 36 Grafik Kadar Aspal Optimum Substitusi Filler Kerak 50%
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

18
Berdasarkan Gambar 4. 4 kadar aspal optimum (KAO) pada campuran dengan substitusi 50% filler kerak tungku pembakaran genteng dengan batu kapur diperoleh nilai sebesar 6,25%.



Gambar 4. 37 Grafik Kadar Aspal Optimum Substitusi Filler Kerak 75%
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan Gambar 4. 5 kadar aspal optimum (KAO) pada campuran dengan substitusi 75% filler kerak tungku pembakaran genteng dengan batu kapur diperoleh nilai sebesar 6,0%.



Gambar 4. 38 Grafik Kadar Aspal Optimum Filler Kerak Tungku 100%
(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

Berdasarkan Gambar 4. 6, kadar aspal optimum (KAO) pada variasi filler kerak tungku pembakaran genteng 100% diperoleh nilai sebesar 5,75%. Penentuan nilai KAO dilakukan dengan mengambil rata-rata dari rentang kadar aspal minimum dan maksimum yang memenuhi kriteria persyaratan. Dari keseluruhan nilai KAO pada berbagai variasi filler kerak tungku pembakaran genteng, dapat disimpulkan bahwa penambahan filler tersebut hanya memberikan sedikit pengaruh, karena nilai KAO yang dihasilkan cenderung tidak jauh berbeda atau hampir sama.

Rekapitulasi hasil kadar aspal optimum (KAO) dari pengujian Marshall pada campuran aspal beton yang menggunakan filler batu kapur dan

kerak tungku pembakaran genteng dengan variasi 25%, 50%, 75%, dan 100%, serta kadar aspal rencana 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% dan 6,5% disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 39 Rekapitulasi Perbandingan KAO Filler Batu Kapur dan Kerak Tungku

Jenis dan Variasi Filler	KAO	Kadar Aspal Rencana	Parameter Marshall					
			VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Flow	MQ
100% Batu Kapur	5,75	4,50%	15,49	6,15	60,35	1008,3	3,83	263,90
		5,00%	15,03	4,45	70,63	1041,7	3,53	295,40
		5,50%	15,69	4,00	74,63	1016,7	3,83	262,60
		6,00%	16,44	3,67	77,70	1050,0	3,33	316,60
		6,50%	17,80	4,04	77,30	1058,3	3,20	334,60
75% Batu Kapur + 25% Kerak Tungku	6,25	4,50%	15,84	7,60	52,02	1108,3	3,60	306,97
		5,00%	16,43	7,08	56,89	1083,3	3,47	311,92
		5,50%	17,23	6,80	60,53	1075,0	3,30	326,11
		6,00%	16,40	4,67	71,51	1016,7	3,80	266,40
		6,50%	17,46	4,69	73,14	1141,7	3,63	314,95
50% Batu Kapur + 50% Kerak Tungku	6,25	4,50%	15,12	7,32	51,68	1108,3	3,27	371,63
		5,00%	15,35	6,38	58,42	1016,7	3,43	297,34
		5,50%	15,59	5,46	65,01	1058,3	3,83	277,35
		6,00%	15,95	4,66	70,80	1008,3	3,60	279,09
		6,50%	17,04	4,70	72,43	1100,0	3,87	291,67
25% Batu Kapur + 75% Kerak Tungku	6,0	4,50%	15,63	7,33	53,22	966,7	4,23	233,19
		5,00%	15,40	5,90	61,86	1091,7	3,60	304,52
		5,50%	15,32	4,61	69,99	1083,3	3,63	298,97
		6,00%	16,31	4,53	72,25	1241,7	3,70	336,90
		6,50%	16,85	3,95	76,54	1300,0	3,87	336,58
100% Kerak Tungku	5,75	4,50%	15,36	6,47	58,02	1025,0	3,3	341,89
		5,00%	15,08	4,97	67,04	1200,0	2,90	414,90
		5,50%	15,88	4,68	70,60	1125,0	3,57	317,15
		6,00%	16,31	3,98	75,62	1025,0	3,97	267,27
		6,50%	17,58	4,24	75,89	1075,0	3,70	292,88

(Sumber : Hasil Olahan Peneliti, 2025)

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perbandingan antara penggunaan limbah kerak tungku pembakaran genteng dan batu kapur sebagai *filler* dengan pendekatan metode *Marshall*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis dan pengujian, limbah kerak tungku pembakaran genteng memiliki karakteristik fisik yang halus dan ringan, sehingga dinilai layak sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran aspal AC-WC. Kandungan utama material ini adalah SiO₂ (36,7%), CaO (12,3%), dan Al₂O₃ (12%), di mana silika berperan penting dalam meningkatkan ketahanan dan stabilitas campuran aspal beton. Hasil uji menunjukkan bahwa persentase material yang lolos saringan No. 200 sebesar 77,63%, telah memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) tahun 2018 yang mensyaratkan minimal 75% lolos. Selain itu, pengujian terhadap tiga sampel menghasilkan rata-rata berat jenis sebesar 2,713 gr/cm³, yang melampaui batas minimum 2,5.
2. Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa perbandingan nilai stabilitas penambahan limbah kerak tungku pembakaran genteng dalam campuran *filler* berdampak positif terhadap nilai stabilitas. Nilai stabilitas tertinggi tercatat pada variasi (25% batu kapur + 75% kerak) dengan kadar aspal 6,5%, yaitu sebesar 1300,0 kg. Sebagai perbandingan, campuran dengan 100% batu kapur pada kadar aspal yang sama hanya menghasilkan nilai stabilitas sebesar 1058,3 kg. Kecenderungan ini mengindikasikan bahwa penggunaan kerak tungku pembakaran genteng mampu memperkuat struktur campuran aspal dan meningkatkan ketahanannya terhadap beban, meskipun efektivitasnya tetap bergantung pada proporsi yang digunakan.
3. Hasil analisis kadar aspal optimum (KAO), menunjukkan bahwa penggunaan limbah kerak tungku pembakaran genteng menunjukkan kecenderungan nilai yang relatif stabil dan tidak jauh berbeda dengan campuran yang hanya menggunakan batu kapur sebagai *filler*. Nilai KAO untuk campuran *filler* batu kapur adalah 5,75%, sementara pada variasi (75% batu kapur + 25% kerak tungku) dan (50% batu kapur + 50% kerak tungku) mencapai hasil yang sama yaitu 6,25%. Pada variasi (25% batu kapur + 75% kerak tungku) sebesar 6,0%, dan untuk variasi 100% kerak tungku hasilnya sama dengan nilai batu kapur yaitu 5,75%. Pola ini menunjukkan bahwa substitusi *filler* dengan limbah kerak tungku tidak

berpengaruh besar terhadap kebutuhan kadar aspal dalam campuran, sehingga limbah tersebut dapat dijadikan alternatif *filler* tanpa harus mengubah secara signifikan perencanaan kadar aspal.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi pertimbangan apabila laporan ini dijadikan referensi atau dasar pengembangan lebih lanjut di masa mendatang, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini belum mencakup pembahasan mengenai **Rencana Anggaran Biaya (RAB)**. Oleh karena itu, **disarankan** agar **pada penelitian selanjutnya** dilakukan **RAB** terkait biaya pembuatan perkerasan jalan menggunakan *filler* dari limbah kerak tungku pembakaran genteng, mengingat material tersebut layak sebagai alternatif pengganti *filler*.
2. Disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan tipe aspal yang berbeda dari aspal PG70 guna mengeksplorasi kinerja material pada variasi jenis aspal lainnya.
3. Penelitian selanjutnya sebaiknya melibatkan studi kasus lapangan agar hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara langsung dengan kondisi nyata di lapangan.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan lapisan selain AC-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Bunyamin, & Kurniasari, F. D. (2021). Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler. *Serambi Engineering, Vol. IV, No. 1*, 1631–1638.
- Angraini, Y., Malik, A., & Sebayang, M. (2020). *Analisa Kinerja Campuran AC-WC dengan Pemanfaatan Kombinasi Limbah Abu Bata dan Abu Serbuk Kayu Sebagai Filler*.
- Apteda, P. E., Royyan, M., Yuwanto, H. A. P., Romadhon, M. H. S., & Putri, A. M. (2023). *Perbandingan Karakteristik Marshall Pada Aspal Modifikasi Polimer PG70 Dengan Aspal Minyak Pen 60-70*.
- Asnawi, B. (2020). Durabilitas Campuran Aspal AC-BC Terhadap Perubahan Suhu. *Jurnal Desiminasi Teknologi, 8, No. 1*, 76–89.
- ASTM D6926-20. (2020). Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus. Dalam *ASTM International*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6926-20>
- ASTM-D6927-05. (2018). ASTM-D6927-05. *ASTM International*.
- Bramantio, Z. I. Y., & Hartatik, N. (2023). Perbedaan Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Bergradasi Halus Dengan Campuran AC-BC Bergradasi Kasar. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri, Vol. 3, No. 1*, 561–581.
- Cahyadi, H., Abdurrahman, Ridzeki, F., & Kumiawan, M. (2023). *TR-8 Penggunaan Kapur Padam Sebagai Pengganti Filler Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.
- Dewi, S. H., Mildawati, R., & Nurbakim, A. (2021). *Perbandingan Dua Jenis Agregat Daerah Yang Berbeda Terhadap Karakteristik Marshall Pada Aspal Porus*.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Kontruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*.
- Emilia, D. (2023). *Pengelolaan Limbah Industri: Solusi Lingkungan untuk Industri yang Berkelanjutan*.
- Ferbiansyah, R., Marini, A. M., & Utomo, G. (2023). *Analisis Durabilitas Campuran AC-WC Menggunakan Asphalt Buton Pen 60/70 dan Asphalt Pg70 Perbandingan 40 : 60*.
- Gunawan, A. (2016). Pengaruh Pencampuran Dua Jenis Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Inersia, 8 No.1*, 59–68.
- Hartatik, N., Utami, G. S., & Rohmania, N. (2014). Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Penambahan Abu Slag Baja Sebagai Bahan Pengganti Filler. Dalam *Jurnal Teknik Sipil KERN* (Vol. 4, Nomor 1).
- Irwansyah, M., Mariani, N., & Farizal, T. (2024). Analisa Mortar Dengan Substitusi Agregat Abu Kerak Boiler Terhadap Kuat Tekan Pada Paving Block. *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi, 10(1)*, 1–5.

- Irwansyah, M., & Sihombing, A. T. (2020). *Analisa Penggunaan Paving Block Sebagai Pengganti Aspal Beton Pada Lapisan Permukaan Jalan Dengan Menggunakan Abu Kerak Boiler*.
- Kafabihi, A., Wedyantadji, B., & Imananto, E. I. (2020). Penggunaan Aspal Buton Pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). Dalam *ITN MALANG* (Vol. 2, Nomor 2).
- Manoppo, M. R. E., & Palenewen, S. Ch. N. (2019). Pengaruh Modulus Kehalusan Agregat Terhadap Penentuan Kadar Aspal Pada Campuran Jenis AC-WC. *Jurnal Sipil Statik*, 7(4), 481–490.
- Nabila, F. S., Saleh, S. M., & Mutiawati, C. (2020). Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan BUton Granular Asphalt Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Dan Styrofoam Substitusi Aspal Pen 60/70. *Journal of The Civil Engineering Student*, Vol. 2. No. 1, 92–98.
- Pratama, G. N. I. P., & Yusuf, A. M. (2019). Uji Titik Nyala Bakar Semarbut Aspal Tipe 4 Berdasarkan SNI 2433:2011. *INERSIA*, Vol. XV No. 1, 62–73.
- Pratiwi, A. A. (2020). *Pemanfaatan Recycle Asphalt Pavement Dengan Peremajaan Aspal Berupa Endapan Crude Palm Oil Untuk Struktur Perkerasan Jalan AC-WC (Recycle Asphalt Pavement Utilization With Slodge Of Crude Palm Oil As Asphalt Rejuvenator For AC-WC Road Pavement Structure)*.
- Putra, Y. A., & Hartatik, N. (2023). *Analisis Karakteristik Kalsium Karbonat (CACO3) sebagai Filler pada Campuran Aspal Panas*.
- Rahmawati, M., Hartatik, N., Rizkiardi, A., Prasetyo, Y. D., & Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur Bali, B. (2023). Pemanfaatan Limbah Batu Kapur Bukit Sekapuk Gresik Sebagai Filler Campuran AC-WC. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, 3(1), 2023–2024. <https://doi.org/10.46306/tgc.v3i1>
- Refiyanni, M., & ikhsan, M. (2020). *Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemiri dan Terak Tanur sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran AC-WC*. <https://www.researchgate.net/publication/344664224>
- Rizaldi Absyah, M., & Hartatik, N. (2023). Analisis Perbandingan Penggunaan Aspal Pen 60/70 Modif PG70 Dengan Aspal Curah Pada Campuran AC-WC. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, 3(2), 1275–1289. <https://doi.org/10.46306/tgc.v3i2>
- Salam, D. (2018). *Pengelolaan Limbah Genteng sebagai Bahan Alternatif Agregat Kasar Ditinjau dari Nilai Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*. *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*.
- Sambung, N. T., Sendow, T. K., & Palenewen, S. (2020). Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), 345–352.

- Setiowati, R., & Putra, M. F. (2023). Struktur Biaya Produksi Aspal Buton Untuk Kebutuhan Infrastruktur Sebagai Substitusi Impor. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 21(1), 35–42. <https://doi.org/10.52330/jtm.v21i1.94>
- Sistra, M. D., Aljnude, B. M., & Setyawan, A. (2015). Perencanaan Dan Pengujian Aspal Penetrasi 60/70 Yang Dimodifikasi Dengan Etyhlene Vinylacetate (EVA). *Seminar Nasional Teknik Sipil V*, 145–150.
- SNI 1969:2016. (2016). Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standardisasi Nasional*. www.bsn.go.id
- SNI 1970:2016. (2016). Metode uji berat jenis dan penyerapan agregat halus. *Badan Standardisasi Nasional*.
- SNI 2417:2008. (2008). Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles. *Badan Standardisasi Nasional*.
- SNI 2432:2011. (2011). *Cara uji daktilitas aspal*. www.bsn.go.id
- SNI 2433:2011. (2011). Cara uji titik nyala dan titik bakar aspal dengan alat cleveland open cup. *Badan Standardisasi Nasional*.
- SNI 2434:2011. (2011). *Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring and ball)*.
- SNI 2439:2011. (2011). Cara uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat-aspal. *Badan Standardisasi Nasional*. www.bsn.go.id
- SNI 2441:2011. (2011). *Cara uji berat jenis aspal keras*. www.bsn.go.id
- SNI 2456:2011. (2011). *Cara uji penetrasi aspal*. www.bsn.go.id
- SNI ASTM C136:2012. (2012). *Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar*. www.bsn.go.id
- SNI-03-4428-1997. (1997). *Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir*.
- Sudarsono, A. Z. W. A., Hartatik, N., Rizkiardi, A., & Prasetyo, Y. D. (2024). Pemanfaatan Limbah Produksi Bata Merah UD. Bata Pres MRH Sebagai Filler Pada Campuran AC-BC. 8, 1–8. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/sondir>
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*.
- Susanto, H. A. (2020). Pengaruh Penggunaan Filler Pasir Besi Dan Semen Dalam Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). *TECHNO*, 21(1), 37–46. <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno>
- Syafi, I. M., Hartatik, N., & Rizkiardi, A. (2024). Karakteristik Penggunaan Limbah Serbuk Kaca pada Campuran Aspal Laston (AC-BC) Terhadap Parameter Marshall. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 7(2), 956–968. <https://doi.org/10.31004/jutin.v7i2.28066>
- Tosi, I., Hadi, M., & Wisman, M. (2023). Eksperimen Durabilitas Aspal Modifikasi Pg 70 Menggunakan Limestone (Abu Batu) Sebagai Filler Terhadap Uji

- Marshall. *Jurnal Teslink: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 6(1), 31–35.
<https://doi.org/10.52005/teslink.v1i15i1.xxx>
- Ubaidillah, M., & Sholichin, I. (2023). Pengaruh Penambahan Abu Daun Bambu Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton AC-WC. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 3(3), 8321–8332.
- Widari, L. A., Muthmainnah, Desmi, A., Malasyi, S., & Utami, P. (2024). Pemanfaatan Penambahan Limbah Inner-Tube Rubber dan Penggunaan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Filler pada Campuran AC-WC. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 3(3), 164–177.
<https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i3.4189>

BIODATA PENULIS



Satria Pradana, yang kerap dipanggil Satria, lahir di Surabaya pada tanggal 19 Januari 2003. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang ditempuh penulis meliputi SDN Balas Klumprik 1/434 Surabaya, SMPN 34 Surabaya, serta SMAN 22 Surabaya. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Program Tudi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, dengan fokus pada Bidang Studi Teknik Sipil Umum. Selama menempuh pendidikan, penulis memperoleh pengalaman magang dalam proyek Supermall

Pakuwon Phase 5 Surabaya yang berlokasi di Jl. Mayjend. Jonosewojo No.2, Babatan, Kec. Wiyung, Surabaya, Jawa Timur 60227, dengan peran sebagai asisten surveyor dan admin. Penulis memiliki minat mendalam pada bidang teknologi material jalan, khususnya dalam hal pengembangan dan penelitian material aspal. Atas dasar ketertarikan tersebut, penulis memilih topik tugas akhir yang berkaitan dengan bidang tersebut dengan judul “Perbandingan Nilai Stabilitas Marshall pada Campuran AC-WC Menggunakan Limbah Kerak Tungku Pembakaran Genteng dan Batu Kapur Sebagai Filler” dengan harapan hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi kemajuan teknologi kontruksi jalan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penulis dapat dihubungi melalui email: satriapradanaa19@gmail.com

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

Tabel L.1 : Formulir Pengujian Analisa Saringan *Filler* Batu Kapur

Sampel	Agregat Halus : Filler Serbuk Batu Kapur (Berat Sampel Minimal 300 gram)											
	Satu Gram			Dua Gram			Tiga Gram			Rata-rata		
	Berat Tertahan	Komulatif	Lolos Komulatif	Berat Tertahan	Komulatif	Lolos Komulatif	Berat Tertahan	Komulatif	Lolos Komulatif	Berat Tertahan	Komulatif	Lolos Komulatif
Berat	503,6			500,1			500,7					
Sieve	Komulatif			Komulatif			Komulatif			Komulatif		
No.	Berat Tertahan	Komulatif	Lolos Komulatif	Berat Tertahan	Komulatif	Lolos Komulatif	Berat Tertahan	Komulatif	Lolos Komulatif	Berat Tertahan	Komulatif	Lolos Komulatif
1 1/2"												
1"												
3/4"												
#4												
#8												
#16	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100
#30	15,7	15,7	3,12	96,88	10,9	2,18	97,82	9,5	98,10	1,90	98,10	97,60
#50	10,6	26,3	5,22	94,78	20,7	4,14	95,86	11,3	20,8	4,15	95,85	95,49
#100	15,5	41,8	8,30	91,70	34,3	6,86	93,14	12,8	33,6	6,71	93,29	92,71
#200	24,9	66,7	13,24	86,76	52,1	17,28	82,72	41,5	75,1	15,00	85,00	84,83
PAN	426,8	493,5	97,99	2,01	409,7	99,20	0,80	415,9	491	98,06	1,94	1,58

Tabel L.2 : Formulir Pengujian Analisa Saringan *Filter* Kerak Tungku Pembakaran Genteng

Sample	Agregat Halus : Filler Serbuk Kerak Tungku Pembakaran Genteng (Berat Sampel Minimal 300 gram)											
	Satu gram				Dua gram				Tiga gram			
	Berat tertahan		Lolos		Berat tertahan		Lolos		Berat tertahan		Lolos	
Berat	502,8		504,5		507,1		507,1		507,1		507,1	
Sieve	Komulatif				Komulatif				Komulatif			
No.	Berat tertahan	Berat tertahan Komulatif	Lolos Komulatif	Berat tertahan	Berat tertahan Komulatif	Lolos Komulatif	Berat tertahan	Berat tertahan Komulatif	Lolos Komulatif	Berat tertahan	Berat tertahan Komulatif	Lolos Komulatif
1 1/2"												
1"												
3/4"												
1/2"												
3/8"												
# 4.												
# 8.												
# 16.												
# 30.	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	100,00
# 50.	8,7	8,7	1,73	8,6	8,6	1,70	98,30	8,8	8,8	1,74	98,26	98,28
# 100.	43,8	52,5	10,44	44,6	53,2	10,55	89,45	46,5	55,3	10,91	89,09	89,37
# 200.	52,6	105,1	20,90	65,3	118,5	23,49	76,51	59,9	115,2	22,72	77,28	77,63
PAN	396,7	501,8	99,80	384,6	503,1	99,72	0,28	391,00	506,2	99,82	0,18	0,22

Tabel L.3 : Formulir Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar 10-15

No.	Ukuran Saringan		Berat Benda Uji 1 :		5210,1		Gram		Berat Benda Uji 2 :		5221,5		Lolos rata-rata Uji 1 dan Uji 2 (%)		
	ASTM (inci)	SNI (mm)	ANALISA SARINGAN	Kumulatif Berat Terahan (Gram)	JUMLAH PERSEN (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	ANALISA SARINGAN	Kumulatif Berat Terahan (Gram)	JUMLAH PERSEN (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	12=(7+11)/2
1	2"	50,8													
2	1 1/2"	37,5													
3	1"	25,4													
4	3/4"	19,1			0	100			0	100					
5	1/2"	12,5	861,7	861,70	16,54	83,46	855,7	855,70	16,35	83,65	858,70	858,70	16,45	83,55	83,55
6	3/8"	9,5	2169,5	3031,20	58,18	41,82	2242,4	3098,10	59,20	40,80	2205,95	3064,65	58,69	41,31	41,31
7	No. 4	4,75	1950,4	4981,60	95,61	4,39	1912,5	5010,60	95,75	4,25	1931,45	4996,10	95,68	4,32	4,32
8	No. 8	2,36	115,6	5097,20	97,83	2,17	88,2	5098,80	97,44	2,56	101,90	5098,00	97,63	2,37	2,36
9	No. 16	1,18	27,5	5124,70	98,36	1,64	20,3	5119,10	97,83	2,17	23,90	5121,90	98,09	1,91	1,91
10	No. 30	0,6	12,9	5137,60	98,61	1,39	10,5	5129,60	98,03	1,97	11,70	5133,60	98,32	1,68	1,68
11	No. 50	0,3	14,4	5152,00	98,88	1,12	14,7	5144,30	98,31	1,69	14,55	5148,15	98,60	1,40	1,40
12	No. 100	0,15	14,7	5166,70	99,17	0,83	14,6	5158,90	98,59	1,41	14,65	5162,80	98,88	1,12	1,12
13	No. 200	0,075	16,8	5183,50	99,49	0,51	16,8	5175,70	98,91	1,09	16,80	5179,60	99,20	0,80	0,80
14	Pan		1,7	5185,20	99,52	0,48	4,5	5180,20	98,99	1,01	3,10	5182,70	99,26	0,74	0,74

Tabel L.4 : Formulir Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar 5-10

No.	Ukuran Saringan ASTM (inci)	SNI (mm)	Berat Benda Uji 1 :		2131,3		Gram		ANALISA SARINGAN		Jumlah Perse (%)		Berat Benda Uji 2 :		2156,8		Gram		Lolos rata-rata Uji 1 dan Uji 2 (%)	
			Analisa Saringan Berat Tertahan (Gram)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Analisa Saringan Berat Tertahan (Gram)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Analisa Saringan Berat Tertahan (Gram)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Analisa Saringan Berat Tertahan (Gram)	Kumulatif Berat Tertahan (Gram)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	12=(7+11)/2					
1	2"	50,8																		
2	1 1/2"	37,5																		
3	1"	25,4																		
4	3/4"	19,1																		
5	1/2"	12,5			0	100			0	100										
6	3/8"	9,5	60,8	60,80	2,85	97,15	28,6	28,60	1,31	98,69	44,70	44,70	2,07	97,93	100,00					
7	No. 4	4,75	1502,7	1563,50	73,36	26,64	1525,5	1554,10	71,21	28,79	1514,10	1538,80	72,27	27,73						
8	No. 8	2,36	342,6	1906,10	89,43	10,57	363,8	1937,90	88,80	11,20	363,20	1922,00	89,11	10,89						
9	No. 16	1,18	123,8	2029,90	95,24	4,76	142,4	2080,30	95,33	4,67	133,10	2055,10	95,28	4,72						
10	No. 30	0,6	29,5	2059,40	96,63	3,37	30,6	2110,90	96,73	3,27	30,05	2085,15	96,68	3,32						
11	No. 50	0,3	18,4	2077,80	97,49	2,51	17,9	2128,80	97,55	2,45	18,15	2103,20	97,52	2,48						
12	No. 100	0,15	15,9	2093,70	98,24	1,76	16,4	2145,20	98,30	1,70	16,15	2119,45	98,27	1,73						
13	No. 200	0,075	14,7	2108,40	98,93	1,07	19,1	2164,30	99,18	0,82	16,90	2136,35	99,05	0,95						
14	Pan		2,1	2110,50	99,02	0,98	9,5	2173,80	99,61	0,39	5,80	2142,15	99,32	0,68						

Tabel L.5 : Formulir Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus 0-5

No.	Ukuran Saringan ASTM (inci)	SNI (mm)	Berat Benda Uji 1 :			Berat Benda Uji 2 :			Berat Benda Uji 2 :			Lolos rata-rata Uji 1 dan Uji 2 (%)	
			ANALISA SARINGAN / JMLAH PERSEN (%)	JMLAH PERSEN (%)	Gram	ANALISA SARINGAN / JMLAH PERSEN (%)	JMLAH PERSEN (%)	Gram	ANALISA SARINGAN / JMLAH PERSEN (%)	JMLAH PERSEN (%)	Gram	Lolos Terahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
			Berat Terahan (Gram)	Kumulatif Berat Terahan (Gram)	Lolos Kumulatif (%)	Berat Terahan (Gram)	Kumulatif Berat Terahan (Gram)	Lolos Kumulatif (%)	Berat Terahan (Gram)	Kumulatif Berat Terahan (Gram)	Lolos Kumulatif (%)	Lolos Terahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	13	14	15	12=(7+11)/2
1	2"	50,8											
2	1 1/2"	37,5											
3	1"	25,4											
4	3/4"	19,1											
5	1/2"	12,5											
6	3/8"	9,5			0			0					
7	No. 4	4,75	45,8	45,80	3,59	44,8	44,8	3,46	45,3	45,30	3,52	96,48	96,48
8	No. 8	2,36	340,6	386,40	30,28	69,72	407,9	34,94	374,3	419,55	32,62	67,38	67,39
9	No. 16	1,18	381,7	768,10	60,19	398,6	851,3	65,70	390,2	809,70	62,96	37,04	37,05
10	No. 30	0,6	188,6	956,70	74,96	171,8	1023,1	78,96	180,2	989,90	76,98	23,02	23,04
11	No. 50	0,3	104,6	1061,30	83,16	88,2	1111,3	85,76	96,4	1086,30	84,47	15,53	15,54
12	No. 100	0,15	54,9	1116,20	87,46	43,6	1154,9	89,13	49,3	1135,55	88,30	11,70	11,70
13	No. 200	0,075	36,8	1153,00	90,35	29,5	1184,4	91,40	33,2	1168,70	90,88	9,12	9,12
14	Pan		3,2	1156,20	90,60	1,7	1186,1	91,53	2,5	1171,15	91,07	8,93	8,93

Tabel L.6 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agg Kasar 10-15

I. Hasil Percobaan :						
No.	Uraian		Pengujian			Satuan
			I	II	III	
1	Berat Benda Uji Kering Oven	A	4207,4	4251,9	4228,7	Gram
2	Berat Benda Uji Kering Jenuh Permukaan di Udara	B	4239,85	4285,34	4261,36	Gram
3	Berat Benda Uji Dalam Air	C	2688,51	2733,52	2709,71	Gram
II. Hasil Perhitungan :						
No.	Uraian		Pengujian			Rata-Rata
			I	II	III	
1	Berat Jenis Curah Kering (Sd)	A	2,712	2,740	2,725	2,726
		B - C				
2	Berat Jenis Curah Kering Permukaan (Ss)	B	2,733	2,761	2,746	2,747
		B - C				
3	Berat Jenis Semu (Sa)	A	2,770	2,800	2,784	2,785
		A - C				
4	Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(B - A)}{A} \times 100$	0,771	0,786	0,772	0,777

Tabel L.7 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agg Kasar 5-10

I. Hasil Percobaan :						
No.	Uraian		Pengujian			Satuan
			I	II	III	
1	Berat Benda Uji Kering Oven	A	2103,1	2037,5	2069,4	Gram
2	Berat Benda Uji Kering Jenuh Permukaan di Udara	B	2135,68	2070,61	2102,94	Gram
3	Berat Benda Uji Dalam Air	C	1363,91	1300,4	1332,56	Gram
II. Hasil Perhitungan :						
No.	Uraian		Pengujian			Rata-Rata
			I	II	III	
1	Berat Jenis Curah Kering (Sd)	A	2,725	2,645	2,686	2,686
		B - C				
2	Berat Jenis Curah Kering Permukaan (Ss)	B	2,767	2,688	2,730	2,728
		B - C				
3	Berat Jenis Semu (Sa)	A	2,845	2,764	2,808	2,806
		A - C				
4	Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(B - A)}{A} \times 100$	1,549	1,625	1,621	1,598

Tabel L.8 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agg Halus 0-5

I. Hasil Percobaan :						
No.	Uraian	S	Pengujian			Satuan
			I	II	III	
1	Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan	S	501,3	500,6	500,1	Gram
2	Berat Benda Uji Kering Oven	A	489,2	488,2	486,3	Gram
3	Berat Pknometer Yang Diisi Air	B	1586,7	1584,5	1582,6	Gram
II. Hasil Perhitungan :						
No.	Uraian		Pengujian			Rata- Rata
1	Berat Jenis Curah Kering (Sd)	A	2,568	2,572	2,565	2,568
		$B + S - C$				
2	Berat Jenis Curah Kering Permukaan (Ss)	S	2,631	2,638	2,638	2,636
		$B + S - C$				
3	Berat Jenis Semu (Sa)	A	2,742	2,752	2,766	2,753
		$B + A - C$				
4	Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(S - A)}{A} \times 100$	2,473	2,540	2,838	2,617

Tabel L.9 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Filler Batu Kapur

Filler Batu Kapur				
Nomor Contoh		Pic. 1	Pic. 2	Pic. 3
Massa piknometer + contoh	W2	54,3	55,7	59,1
Massa piknometer	W1	41,6	42,7	42,7
Massa filler	$Wt = W2 - W1$	12,7	13	16,4
Massa piknometer + Air + Filler	W3	151,5	149,4	148,8
Massa piknometer + Air	W4	142	142,6	142,6
	$W5 = W2 - W1 + W4$	154,7	155,6	159
Isi Filler	$W5 - W3$	3,2	6,2	10,2
Berat jenis	$Wt / W5 - W3$	3,969	2,097	1,608
Rata-rata		2,558		

Tabel L.10 : Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Filler Kerak Tungku

2 Filler Kerak Tungku Pembakaran Genteng				
2 Nomor Contoh		Pic. 1	Pic. 2	Pic. 3
Massa piknometer + contoh	W2	80,6	81,8	80,5
Massa piknometer	W1	41,6	42,7	42,7
Massa filler	Wt = W2 - W1	39	39,1	37,8
Massa piknometer + Air + Filler	W3	166,9	165,7	167,5
Massa piknometer + Air	W4	142	142,6	142,6
	W5 = W2 - W1 + W4	181	181,7	180,4
Jsi Filler	W5 - W3	14,1	16	12,9
Berat jenis	Wt / W5 - W3	2,766	2,444	2,930
Rata-rata			2,713	

Tabel L.11 : Formulir Pengujian Keausan Agregat 10-15

No	GRADASI PEMERIKSANAAN		4 Jumlah Putaran = 500 Putaran		
	SARINGAN		Berat	Berat	Berat
	4 LOLOS	TERTAHAN	I	II	III
1	76,23 mm (3")	63,5 mm (2 1/2")			
2	63,5 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")			
3	50,8 mm (2")	36,1 mm (1 1/2")			
4	36,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")			
5	25,4 mm (1")	19,1 mm (3/4")			
6	19,1 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	2501,3	2504,2	2501,6
7	12,7 mm (1/2")	9,52 mm (3/8")	2501,5	2505,7	2503,1
8	9,52 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")			
9	6,35 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)			
10	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)			
	2 Jumlah Berat (a)		5002,8	5009,9	5004,7
	2 Berat Tertahan Saringan No. 12 Sesudah Percobaan (b)		4089,5	4133,7	4112,9
	Keausan	$\frac{a-b}{a} \times 100\%$	18,26	17,49	17,82
	Rata-rata		17,85		

Tabel L.12 : Formulir Pengujian Keausan Agregat 5-10

No	GRADASI PEMERIKSANAAN		Jumlah Putaran = 500 Putaran		
	SARINGAN		Berat	Berat	Berat
	LOLOS	TERTAHAN	I	II	III
1	76,23 mm (3")	63,5 mm (2 1/2")			
2	63,5 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")			
3	50,8 mm (2")	36,1 mm (1 1/2")			
4	36,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")			
5	25,4 mm (1")	19,1 mm (3/4")			
6	19,1 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")			
7	12,7 mm (1/2")	9,52 mm (3/8")			
8	9,52 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")	2503,4	2503,9	2501,8
9	6,35 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)	2505,7	2504,1	2502,5
10	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)			
	Jumlah Berat (a)		5009,1	5008	5004,3
	Berat Tertahan Saringan No. 12 Sesudah Percobaan (b)		3882,4	3805,1	3842,6
	Keausan	$\frac{a-b}{a} \times 100\%$	22,49	24,02	23,21
	Rata-rata		23,24		

Tabel L.13 : Formulir Pengujian Sand Equivalent

No.	Uraian	Pengujian		
		I	II	III
1	Tera tinggi tangkai penunjuk beban kedalaman gelas ukur (gelas keadaan kosong)	10	10	10
2	Baca skala lumpur (pembacaan skala permukaan lumpur lihat pada dinding gelas ukur)	3,7	4,0	3,9
3	Masukkan beban, baca skala beban pada tangkai penunjuk	12,6	12,9	12,8
4	Baca skala pasir : Pembacaan (3) - Pembacaan (1)	2,6	2,9	2,8
5	Nilai Sand Equivalent : $\frac{\text{Skala Pasir (4)}}{\text{Skala Lumpur (2)}} \times 100$	70,27	72,50	71,79
	Rata-rata Nilai Sand Equivalent	71,39		

Tabel L.14 : Formulir Pengujian Penetrasi Aspal

Uraian	Waktu	Temperatur °C	
Contoh dipanaskan	Mulai : 08.07	Suhu Pemanasan :	
	Selesai : 08.23		
Didiamkan pada temperatur ruang	Mulai : 09.08		
	Selesai : 09.35		
Drendam pada temperatur 20°C	Mulai : 09.35	Suhu Bak Rendam :	
	Selesai : 10.31		
Pemeriksaan penetrasi pada 25°C	Mulai : 10.31	Suhu Alat :	
	Selesai : 10.47		
Pemeriksaan penetrasi pada 25°C 100 gram, 5 detik	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji III
1	50	57	52
2	57	55	54
3	53	53	51
4	50	51	51
5	56	52	50
Rata-rata	53,2	53,6	51,6
Rata-rata Keseluruhan	52,8		

Tabel L.15 : Formulir Pengujian Titik Lembek Aspal

Uraian	Waktu	Temperatur °C					
Contoh dipanaskan	Mulai : 08.07	Temperatur Oven :					
	Selesai : 08.23						
Didiamkan pada temperatur ruang	Mulai : 09.08						
	Selesai : 09.35						
Drendam pada temperatur 25°C	Mulai : 09.35	Temperatur Lemari Es :					
	Selesai : 14.21						
Pemeriksaan titik lembek	Mulai : 14.23						
Dimulai temperatur 25°C	Selesai : 14.41						
Suhu yang diamati	Waktu (detik)	Titik Lembek (°C)					
No	°C	I	II	III	I	II	III
1	5	0	0	0			
2	10	1,11	1,13	0,5			
3	15	2,15	2,17	1,58			
4	20	3,10	3,12	2,57			
5	25	4,09	4,11	3,54			
6	30	5,07	5,13	4,46			
7	35	6,06	6,10	5,35			
8	40	7,08	7,12	6,43			
9	45	8,07	8,10	7,42			
10	50	9,08	9,12	8,46			
11		9,52	10,02	9,10	52,6	53,1	51,7
Rata-rata					52,47		

Tabel L.16 : Formulir Pengujian Berat Jenis Aspal PG70

Uraian	Waktu	Temperatur °C
Contoh Dipanaskan	Mulai : 09.16 Selesai : 09.39	Temperatur Oven : 170°C
Didiamkan pada temperatur ruang	Mulai : 11.46 Selesai : 12.48	
Direndam pada temperatur 25°C	Mulai : 12.48 Selesai : 01.18	Temperatur Bak Perendam : 25°C
Pemeriksaan berat jenis	Mulai : Selesai :	
Uraian	Benda Uji I (gram)	Benda Uji II (gram)
Massa piknometer + aspal	(C) 52,672	Benda Uji III (gram) 58,724
Massa piknometer kosong	(A) 30,877	53,853
Massa aspal	(C - A) 21,795	31,855
Massa piknometer + air	(B) 59,134	21,998
Massa piknometer kosong	(B - A) 30,877	59,432
Massa air	(D) 28,257	31,855
Massa piknometer + aspal + air	(C) 52,672	27,577
Massa air	(D - C) 7,296	60,320
Massa air	(B - A) - (D - C) 20,961	53,853
Berat jenis	$\frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$ 1,040	6,467
Berat jenis rata-rata		21,11
Berat isi = Berat jenis x WT		1,042
		1,040
		1037,33

Tabel L.17 : Formulir Pengujian Titik Lembek Aspal

Uraian		Waktu			Temperatur °C		
Contoh dipanaskan		Mulai : 08.07			2 Temperatur Oven :		
		Selesai : 08.23					
Didiamkan pada temperatur ruang		Mulai : 09.08					
		Selesai : 09.35					
Direndam pada temperatur 25°C		Mulai : 09.35			Temperatur Lemari Es :		
		Selesai : 14.21					
Pemeriksaan titik lembek Dimulai temperatur 25°C		Mulai : 14.23					
		Selesai : 14.41					
Suhu yang diamati		Waktu (detik)			Titik Lembek (°C)		
No	°C	I	II	III	I	II	III
1	5	0	0	0			
2	10	1,11	1,13	0,5			
3	15	2,15	2,17	1,58			
4	20	3,10	3,12	2,57			
5	25	4,09	4,11	3,54			
6	30	5,07	5,13	4,46			
7	35	6,06	6,10	5,35			
8	40	7,08	7,12	6,43			
9	45	8,07	8,10	7,42			
10	50	9,08	9,12	8,46			
11		9,52	10,02	9,10	52,6	53,1	51,7
Rata-rata					52,47		

Tabel L.18 : Formulir Pengujian Daktilitas

Contoh uji dipanaskan	Mulai	jam : 09.20	Temperatur Oven : °C
	Selesai	jam : 09.42	
Contoh uji dituangkan	Mulai	jam : 9.43	Temperatur : °C
	Selesai		
Didiamkan pada temperatur ruang	Mulai	jam : 10.28	Temperatur Ruang : 25°C
	Selesai	jam : 11.30	
Drendam pada bak perendam	Mulai	jam : 11.31	Temperatur bak perendam : 25°C
	Selesai	jam : 13.09	
Persiapan pengujian direndam pada bak perendam	Mulai	jam : 9.43	
	Selesai	jam : 10.28	
Pemeriksaan daktilitas pada temperatur 25°C	Mulai	jam : 13.10	
	Selesai	jam : 13.43	
Hasil Pengujian			
Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit			
Pengamatan	1	> 150	> 150
	2	> 150	> 150
	3	> 150	> 150
Rata-rata			> 150
Rata-rata			> 150

Tabel L.19 : Formulir Pengujian Titik Nyala

Contoh I		Contoh II		Contoh III	
Contoh dipanaskan Mulai : Pemanasan dari : 56°C dibawah titik nyala 56°C sampai 28°C dibawah titik nyala perkiraan		338		386	
370					
15°C per menit		Temperatur Oven			
5-6°C per menit		Titik nyala perkiraan		2	
2°C per menit					
Temperatur di bawah titik nyala					
Pembacaan Temperatur (I)		Pembacaan Temperatur (II)		Pembacaan Temperatur (III)	
menit	°C	menit	°C	menit	°C
1	155	17	316	33	370
2	168	18	319	34	370
3	179	19	322	35	374
4	191	20	326	36	377
5	204	21	329	37	380
6	217	22	332	38	383
7	233	23	335	39	386
8	247	24	339	40	386
9	261	25	344	41	386
10	273	26	347	42	386
11	284	27	350	43	386
12	293	28	353	44	386
13	301	29	351	45	386
14	306	30	357	46	386
15	311	31	362	47	386
16	314	32	366	48	386
Titik Nyala : 370		Titik Nyala : 338		Titik Nyala : 386	
Rata-rata					
364,7					

Tabel L.20 : Rekapitulasi Hasil Pengujian

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Hasil Pengujian Agregat Kasar					
Analisa saringan agregat lolos ayakan No.200					
1	Analisa saringan fraksi 5-10	ASTM C136-2012	0,87%	< 1%	Memenuhi
	Analisa saringan fraksi 10-15	ASTM C136-2012	0,74%	< 1%	Memenuhi
Abrasi dengan 500 putaran (%)					
2	Kecausan Agregat 5-10	SNI 2417-2008	23,24%	< 30%	1) Memenuhi
	Kecausan Agregat 10-15	SNI 2417-2008	17,85%	< 30%	Memenuhi
3	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	SNI 2439-2011	100%	> 95%	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 5-10					
4	Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2016	2,686	-	Dilaporkan
	Berat Jenis SSD	SNI 1969-2016	2,728	16	Dilaporkan
	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	2,806	> 2,5	Memenuhi
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	1,598%	< 3%	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 10-15					
5	Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2016	2,726	-	Dilaporkan
	Berat Jenis SSD	SNI 1969-2016	2,747	16	Dilaporkan
	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	2,785	> 2,5	1) Memenuhi
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	0,78%	< 3%	Memenuhi
Hasil Pengujian Agregat Halus					
Analisa saringan agregat lolos ayakan No.200					
1	Analisa saringan Fraksi 0-5	AST CMC136-2013	8,93%	< 10%	Memenuhi
6	Sand Equivalent	SNI 4428-1997	71,39%	> 50%	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan Fraksi 0-5					
2	Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2016	2,658	-	Dilaporkan
	Berat Jenis SSD	SNI 1969-2016	2,636	-	Dilaporkan
	Berat Jenis Semu	SNI 1969-2016	2,753	> 2,5	Memenuhi
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	2,617%	< 3%	Memenuhi
Hasil Pengujian Filler					
Analisa saringan agregat lolos ayakan No.200					
1	Analisa saringan filler serbuk batu kapur	ASTM C136-2012	84,83%	> 75%	Memenuhi
6	Analisa saringan filler serbuk kerak tungku pembakaran genteng	ASTM C136-2012	77,63%	> 75%	Memenuhi
Berat Jenis dan Penyerapan					
2	Berat jenis filler serbuk batu kapur	SNI 1970-2016	2,558	> 2,5	Memenuhi
	Berat jenis filler serbuk kerak tungku pembakaran genteng	SNI 1970-2016	2,713	> 2,5	Memenuhi
Hasil Pengujian Aspal					
1	Berat Jenis	SNI 2456-2011	1,040	-	Dilaporkan
9	Penetrasi aspal 25°C	SNI 2433-2011	52,8	-	Dilaporkan
3	Titik nyala (°C)	SNI 2441-2011	364,7	> 230	Memenuhi
4	Titik lembek (°C)	SNI 2433-2011	52,47	-	Dilaporkan
5	Daktilitas pada 25°C	SNI 2433-2012	150	> 100	Memenuhi

Tabel L.21 : Hasil Pengujian Marshall Filler Batu Kapur

Kadar Aspal		Berat Benda Uji		UJI CAMPURAN DENGAN ALAT MARSHALL												BJ. Aspal						
Kode Beker		Isi Benda Uji		Kepadatan		Berat Jenis Campuran Maksimum (teoritis)		Rongga Dalam Agregat (VMA)		Rongga Tembalap Campuran (VTV)		Rongga Terisi Aspal (VFB)		Beban Poda Alt Pada Alt		Stabilitas		Hasil Bagi Marshall		Telah Fih Aspal		
%	%	gr.	cc.	gr/cc.	100((100-b)/(a+b))	100-g*	100-((100-b)/(a+b))	100-((100-g*)/(100-b))	100-((100-g*)/(100-b))	100-((100-g*)/(100-b))	100-((100-g*)/(100-b))	100-((100-g*)/(100-b))	100-((100-g*)/(100-b))	kg	mm	mm	mm	kg/mm	%	%	%	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	
4.5	1122.7	1130.1	645.6	2.317	2.486	16.09	6.81	57.86	380	950.0	950.0	3.60	263.3	4.16	7.74	1.040	0.353	2.5				
4.5	1125.2	1135.6	654.9	2.341	2.486	15.22	5.85	61.55	420	1050.0	1050.0	3.70	283.8	4.16	7.74							
4.5	1125.4	1131.5	651.1	2.343	2.486	15.16	5.78	61.85	410	1025.0	1025.0	4.20	244.0	4.16	7.74							
Rata-Rata	4.5			2.333	2.486	15.49	6.15	60.35		1008.3	1008.3	3.83	263.9	4.16	7.74							
5.0	1134.2	1141.5	654.7	2.330	2.468	16.06	5.61	65.06	430	1075.0	1075.0	3.50	307.1	4.67	8.72							
5.0	1132.6	1136.2	656.9	2.363	2.468	14.88	4.28	71.21	400	1000.0	1000.0	3.70	270.3	4.67	8.72							
5.0	1130.6	1135.2	660.8	2.383	2.468	14.14	3.45	75.62	420	1050.0	1050.0	3.40	308.8	4.67	8.72							
Rata-Rata	5.0			2.359	2.468	15.03	4.45	70.63		1041.7	1041.7	3.53	295.4	4.67	8.72							
5.5	1138.0	1143.6	663.7	2.371	2.451	15.02	3.24	78.43	380	950.0	950.0	3.70	256.8	5.17	9.71							
5.5	1140.1	1148.2	664.2	2.356	2.451	15.88	3.87	75.13	320	800.0	800.0	3.50	228.6	5.17	9.71							
5.5	1143.1	1152.4	662.0	2.331	2.451	16.47	4.89	70.32	520	1300.0	1300.0	4.30	302.3	5.17	9.71							
Rata-Rata	5.5			2.353	2.451	15.69	4.00	74.63		1016.7	1016.7	3.83	262.6	5.17	9.71							
6.0	1132.2	1139.7	655.6	2.341	2.433	16.55	3.80	77.07	510	1275.0	1275.0	3.30	386.4	5.67	10.71							
6.0	1131.7	1137.3	654.8	2.345	2.433	16.39	3.60	78.01	370	925.0	925.0	3.60	256.9	5.67	10.71							
6.0	1133.2	1136.1	653.1	2.346	2.433	16.38	3.60	78.03	380	950.0	950.0	3.10	306.5	5.67	10.71							
Rata-Rata	6.0			2.344	2.433	16.44	3.67	77.70		1050.0	1050.0	3.33	316.6	5.67	10.71							
6.5	1132.5	1139.6	650.8	2.317	2.416	17.84	4.10	77.05	410	1025.0	1025.0	3.50	292.9	6.17	11.72							
6.5	1139.7	1145.1	654.2	2.321	2.416	17.69	3.91	77.87	440	1100.0	1100.0	2.80	392.9	6.17	11.72							
6.5	1137.4	1142.5	651.5	2.317	2.416	17.86	4.11	76.98	420	1050.0	1050.0	3.30	318.2	6.17	11.72							
Rata-Rata	6.5			2.318	2.416	17.80	4.04	77.30		1058.3	1058.3	3.20	334.6	6.17	11.72							






Tabel L.23 : Hasil Pengujian Marshall Filler Kerak Tungku 50%

Kadar Aspal		Besi Benda Uji		Isi Benda Uji		Keapadatan		Besi Jenis Campuran Maksimum (beams)		Rongga Dalam Agregat (VMA)		Rongga Terhadap Campuran (VFB)		Rongga Trans Aspal (VFA)		Bahan Pada Aspal		Stabilitas		Hasil Bagi Marshall		Kadar Aspal Efektif		Tebal Fm Aspal			
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z		
%	%	gr.	gr.	gr.	cc.	gr/cc.	100/((100-b)/((100-i)+j))	%	%	%	%	%	%	mm	kg/mm	%	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
BD, Campuran Maksimum (GMM)		2,491		5,5		2,637		2,712		2,491		5,5		2,637		2,712		2,491		5,5		2,637		2,712			
Kadar Aspal GMM		1132,2		1136,7		1136,7		656,4		480,3		2,359		6,70		53,96		410		1025,0		4,60		222,0		3,46	
Kadar Aspal GMM		1132,1		1138,7		656,5		482,2		2,348		6,71		52,26		480		1200,0		2,90		413,8		3,46		6,37	
Kadar Aspal GMM		1136,4		1143,4		654,3		489,1		2,323		6,11		48,82		440		1100,0		2,30		478,3		3,46		6,37	
Rata-Rata		4,5		4,5		2,344		2,529		15,12		7,32		51,68		1108,3		3,27		371,6		3,46		6,37			
1		5,0		1127,7		1139,5		659,9		479,6		2,352		6,31		58,73		380		950,0		3,60		263,9		3,97	
2		5,0		1132,2		1137,9		656,4		481,5		2,351		6,31		58,71		420		1050,0		3,50		300,0		3,97	
3		5,0		1130,4		1136,1		654,3		481,9		2,346		6,53		57,83		420		1050,0		3,20		328,1		3,97	
Rata-Rata		5,0		2,350		2,510		15,35		6,38		58,42		1016,7		3,43		297,3		3,97		7,34		7,34			
1		5,5		1126,9		1130,7		653,2		477,5		2,360		5,27		65,83		420		1050,0		3,50		300,0		4,47	
2		5,5		1135,6		1139,2		657,0		482,2		2,355		5,46		64,99		410		1025,0		4,10		250,0		4,47	
3		5,5		1132,6		1136,5		654,7		481,8		2,351		5,64		64,20		440		1100,0		3,90		282,1		4,47	
Rata-Rata		5,5		2,355		2,491		15,59		5,46		65,01		1058,3		3,83		277,4		4,47		8,33		8,33			
1		6,0		1131,0		1136,4		655,9		480,4		2,354		4,81		70,09		350		875,0		3,30		265,2		4,98	
2		6,0		1124,6		1129,3		654,5		474,8		2,369		4,22		72,88		390		975,0		3,60		270,8		4,98	
3		6,0		1135,1		1139,7		656,8		482,9		2,350		4,96		69,42		470		1175,0		3,90		301,3		4,98	
Rata-Rata		6,0		2,358		2,473		15,95		4,66		70,80		1008,3		3,60		279,1		4,98		9,32		9,32			
1		6,5		1141,4		1145,3		657,4		487,8		2,340		4,70		72,43		410		1025,0		4,10		250,0		5,49	
2		6,5		1138,4		1142,3		654,6		487,7		2,334		4,92		71,46		430		1075,0		4,30		250,0		5,49	
3		6,5		1134,3		1137,5		653,8		483,7		2,345		4,48		73,42		480		1200,0		3,20		375,0		5,49	
Rata-Rata		6,5		2,340		2,455		17,04		4,70		72,43		1100,0		3,87		291,7		5,49		10,32		10,32			






Tabel L.25 : Hasil Pengujian Marshall Filler Kerak Tungku 100%

B1. Campuran Maksimum (GMM)		2,463		B1. Aspal		1,040											
Kadar Aspal GMM		5,5		Absorpsi Aspal		0,569											
B1. Gabungan Aqa. Bulk		2,637		Kali. Proving Ring		2,5											
B1. Aqa. Efektif		2,676		UJI CAMPURAN DENGAN ALAT MARSHALL													
Kode Beker	Kadar Aspal Terdapat dalam Campuran	Beat Benda Uji		Isi Benda Uji	Kepadatan	Beat Jenis Campuran (teoritis)	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terdapat dalam Campuran (VTR)	Rongga Tersisa (VFB)	Beban Roda Atas	Saratibas		Pelebaran	Heli Bagi Tasial	Kadar Aspal Efektif	Tebal Fin Aspal	
		gr	cc								gr/cc	kg					mm
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
%	%	gr	gr	gr	cc	gr/cc	100((100-b)/(100-a))	100-g*	100-j	100*(k-j)/k						%	mm
100/(100-b)%					d-e	c/f		100*(i-j)/(100-vj)	100*							b*((100-p)/(100-b))	mm
1	4,5	1136,9	1139,3	647,8	491,5	2,313	2,499	16,22	7,42	54,25	350	875,0	875,0	3,60	243,2	3,96	7,34
2	4,5	1137,9	1142,9	656,7	486,2	2,340	2,499	15,24	6,33	58,45	390	975,0	975,0	3,90	250,0	3,96	7,34
3	4,5	1139,1	1141,5	658,4	483,2	2,358	2,499	14,61	5,64	61,38	490	1225,0	1225,0	2,30	532,6	3,96	7,34
Rata-rata	4,5					2,337	2,499	15,36	6,47	58,02			1025,0	3,27	341,9	3,96	7,34
1	5,0	1134,4	1136,2	654,8	481,5	2,356	2,480	15,12	5,02	66,83	480	1200,0	1200,0	3,10	387,1	4,46	8,31
2	5,0	1134,5	1139,7	657,5	482,2	2,353	2,480	15,23	5,14	66,23	470	1175,0	1175,0	2,70	435,2	4,46	8,31
3	5,0	1130,5	1135,5	656,9	478,5	2,362	2,480	14,89	4,76	68,05	490	1225,0	1225,0	2,90	422,4	4,46	8,31
Rata-rata	5,0					2,357	2,480	15,08	4,97	67,04			1200,0	2,90	414,9	4,46	8,31
1	5,5	1136,0	1138,8	654,7	484,1	2,347	2,463	15,90	4,71	70,41	490	1225,0	1225,0	3,40	360,3	4,96	9,30
2	5,5	1134,9	1139,8	652,5	487,2	2,329	2,463	16,52	5,41	67,27	450	1125,0	1125,0	3,50	321,4	4,96	9,30
3	5,5	1131,9	1136,3	657,8	478,5	2,366	2,463	15,23	3,94	74,13	410	1025,0	1025,0	3,80	269,7	4,96	9,30
Rata-rata	5,5					2,347	2,463	15,88	4,68	70,60			1125,0	3,57	317,2	4,96	9,30
1	6,0	1129,2	1133,7	651,9	481,8	2,344	2,445	16,45	4,13	74,88	430	1075,0	1075,0	3,10	346,8	5,47	10,30
2	6,0	1135,0	1140,5	657,6	482,9	2,350	2,445	16,21	3,86	76,18	390	975,0	975,0	4,50	216,7	5,47	10,30
3	6,0	1131,8	1136,4	654,5	481,9	2,349	2,445	16,28	3,94	75,82	410	1025,0	1025,0	4,30	238,4	5,47	10,30
Rata-rata	6,0					2,348	2,445	16,31	3,98	75,62			1025,0	3,97	267,3	5,47	10,30
1	6,5	1133,6	1137,6	649,5	488,0	2,323	2,427	17,64	4,31	75,58	450	1125,0	1125,0	3,40	330,9	5,97	11,30
2	6,5	1136,6	1139,4	650,9	488,4	2,327	2,427	17,49	4,13	76,36	420	1050,0	1050,0	4,10	256,1	5,97	11,30
3	6,5	1132,5	1135,2	647,8	487,4	2,324	2,427	17,61	4,27	75,73	420	1050,0	1050,0	3,60	291,7	5,97	11,30
Rata-rata	6,5					2,325	2,427	17,58	4,24	75,89			1075,0	3,70	292,9	5,97	11,30






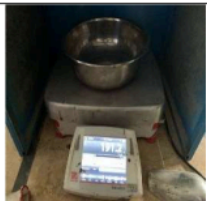
Tabel L.26 : Dokumentasi Pengujian²

No.	Pengujian	Uraian
1.		<p data-bbox="603 365 1173 398">Analisa Saringan Agregat Kasar</p> <p data-bbox="603 421 1173 573">Pemisahan butiran sebelum dilakukanya analisa saringan dengan metode kuartering dengan menggunakan alat <i>Splitter</i>, yang bertujuan untuk memperoleh sampel yang merata dari seluruh ukuran material.</p>
		<ul data-bbox="603 595 1173 748" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="603 595 1173 685">• Berat minimum untuk analisa saringan agregat kasar fraksi 10-15 adalah 5 kg, dan fraksi 5-10 adalah 2 kg. <li data-bbox="603 685 1173 748">• Agregat kasar harus dalam keadaan kering oven dan bersih.
		<ul data-bbox="603 797 1173 927" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="603 797 1173 927">• Melakukan pengayakan dengan ayakan 1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200, serta wadah penampung (pan)
		<ul data-bbox="603 999 1173 1151" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="603 999 1173 1088">• Menimbang agregat yang tertahan di setiap saringan dan mencatat setiap massa yang tertahan <li data-bbox="603 1088 1173 1151">• Menghitung presentase butiran yang lolos menggunakan bantuan excel
2.		<p data-bbox="603 1198 1173 1232">Analisa Saringan Agregat Halus</p> <ul data-bbox="603 1232 1173 1361" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="603 1232 1173 1299">• Berat minimum untuk analisa saringan agregat halus fraksi 0-5 adalah 1 kg <li data-bbox="603 1299 1173 1361">• Agregat kasar harus dalam keadaan kering oven dan bersih






Tabel L.26 : Dokumentasi Pengujian (Lanjutan)

No.	Pengujian	Uraian
		<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pengayakan dengan ayakan 1", ¾", ½", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200, serta wadah penampung (pan)
3.		Analisa Saringan Filler
		<ul style="list-style-type: none"> Menimbang benda uji yaitu serbuk kerak tungku pembakaran genteng dan debu kapur sebanyak 500 gram Filler harus dalam keadaan kering oven
		<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pengayakan dengan saringan No. 30, 50, 100, 200, dan pan.
		<ul style="list-style-type: none"> Hitung filler yang tertaha di setiap saringan dan mencatat setiap massa yang tertahan Menghitung presentase yang lolos menggunakan bantuan excel Material yang lolos ayakan No. 200 harus lebih dari 75% dari beratnya
4.		Abrasi/Keausan Agregat
		<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pengayakan Menggunakan agregat kasar yang telah dikeringkan dalam oven dan kondisi bersih







Tabel L.26 : Dokumentasi Pengujian (Lanjutan)

No.	Pengujian	Uraian
		<ul style="list-style-type: none"> • Agregat yang digunakan berukuran lolos saringan 1½” dan tertahan pada saringan 1”, maka dilakukan penimbangan masing-masing agregat yang tertahan di saringan 1”, ¾”, ½”, dan 3/8” sebanyak 250 gram per saringan.
		<ul style="list-style-type: none"> • Menguji keausan menggunakan mesin <i>Los Angeles</i> • Pengujian dilakukan dengan 500 putaran • Bola yang digunakan berbeda tiap fraksi, utk fraksi 10-15 (11 bola), dan untuk fraksi 5-10 (8 bola)
		<ul style="list-style-type: none"> • Menimbang agregat yang lolos saringan No. 12 • Bersihkan agregat dengan mencuci
		<ul style="list-style-type: none"> • Mengeringkan agregat bersih dalam oven sampai diperoleh berat tetap
		<ul style="list-style-type: none"> • Menimbang agregat setelah kering oven
5.	<p style="text-align: center;">Kelekatan Agregat Terhadap Aspal</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Menimbang agregat sebanyak 100 gram dengan kondisi kering oven dan bersih






Tabel L.26 : Dokumentasi Pengujian (Lanjutan)

No.	Pengujian	Uraian
		<ul style="list-style-type: none"> • pencampuran aspal dan agregat 1 hingga tercampur merata
		<ul style="list-style-type: none"> • Memasukan agregat dan aspal yang telah tercampur ke dalam gelas berisi air • Mengamati presentase agregat yang terselimuti oleh aspal secara menyeluruh
6.		<p style="text-align: center;">Penetrasi Aspal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mencairkan aspal dan menuangkan aspal dalam cawan • Rendam aspal dan di diamkan selama 1-1,5 jam atau hingga benda uji bersuhu ruangan
		<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan uji penetrasi dengan menurunkan jarum perlahan selama 5 detik • Membaca dan mencatat angka penetrasi pada arloji • Melakukan tahap tersebut hingga 5 kali
7.		<p style="text-align: center;">Titik Lembek Aspal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mencairkan aspal dan menuangnya dalam cetakan berbentuk ring



Tabel L.26 : Dokumentasi Pengujian (Lanjutan)

No.	Pengujian	Uraian
		<ul style="list-style-type: none"> • Menyiapkan peralatan untuk uji titik lembek • Meletakkan gelas pengujian yang sudah di isi air es
		<ul style="list-style-type: none"> • Meletakkan termometer yang pada gelas pengujian
		<ul style="list-style-type: none"> • Memanaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C per menit • Menghentikan pengujian setelah aspal menyentuh dudukan benda uji titik lembek • Catat waktu dan suhu pada saat aspal mengalami lembek
8.	Titik Nyala Aspal	
		<ul style="list-style-type: none"> • Mencairkan aspal dan menuangkan ke dalam cawan cleveland • Diamkan pada suhu rung
		<ul style="list-style-type: none"> • Meletakkan cawan di atas alat pemanas • Pasang termometer dan amati perubahan suhu setiap menitnya • Amati dan catat nyala api terjadi di menit ke berapa
9.	Daktalitas Aspal	
		<ul style="list-style-type: none"> • Cairkan aspal dan cetak dalam cetakan daktalitas • Diamkan pada suhu ruang

Tabel L.26 : Dokumentasi Pengujian (Lanjutan)

No.	Pengujian	Uraian
		<ul style="list-style-type: none"> • Lakukan pengujian menggunakan alat tarik • Catat hasil dari pengujian dengan satuan cm
10.	<p data-bbox="587 577 986 611" style="text-align: center;">Pembuatan Briket dan Marshall Test</p>    	<ul style="list-style-type: none"> • menggoreng agregat yang telah ditimbang sesuai komposisi hingga mencapai suhu minimal 170°C • Cairkan aspal hingga suhu 170°C • Timbang aspal sesuai dengan komposisi yang telah di tentukan • Melakukan pencampuran aspal dengan agregat pada suhu 170°C • Menyiapkan alat penumbuk mekanis atau manual dan juga cetakan (molding) • Alasi cetakan dengan kertas 2 lembar • Melakukan tumbukan sebanyak 75 kali setiap sisi briket • Memberi identitas pada briket agar tidak tertukar


Tabel L.26 : Dokumentasi Pengujian (Lanjutan)

No.	Pengujian	Uraian
		<ul style="list-style-type: none"> • Mendinginkan briket sebelum di lepas dari cetakan • Lepas briket dari cetakan menggunakan alat dorong
		<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan timbang pada briket dalam keadaan kering, SSD, dan dalam air • Merendam briket selama 30 menit pada suhu 60°C
		<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan pengujian marshall dengan alat marshall test • Amati pergerakan jarum stabilitas dan flow dan catat hasilnya

Gambar L.1 : Lembar Persetujuan Tugas Akhir

		PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
LEMBAR BIMBINGAN & PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING Periode Semester Genap 2024/2025		
Nama Mahasiswa	:	Satria Pradana
NIM	:	1432100058
Alamat Rumah / Kost	:	Jl. Balas Klumprik Gg. Makam No. 17 RT02/RW02, Surabaya
Nomor Telp/Hp/Whatsapp	:	087826004661
Dosen Pembimbing 1	:	Ir. Nurani Hartatik, ST., MT., IPM., ASEAN Eng
Dosen Pembimbing 2	:	-
Tanggal Kepesertaan Pembekalan Tugas Akhir	:	Selasa, 11 Februari 2025
Nama dan Tanggal Publish Jurnal	:	Nama Jurnal/seminar : JTsA Link Jurnal : https://ejournal.utp.ac.id/index.php/jtsa Tanggal Publish Jurnal/Seminar :
		Paraf koordinator jurnal
Judul Tugas Akhir : PERBANDINGAN NILAI STABILITAS MARSHALL PADA CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN SEMEN PORTLAND SEBAGAI FILLER		
Dosen Pembimbing 1 (Ir. Nurani Hartatik, ST., MT., IPM., ASEAN Eng)	Dosen Pembimbing 2 <i>Konfirmasi bila tidak ada pembimbing ke 2</i> (Nama Dosen Pembimbing 2)	Persetujuan Koordinator TA (Ir. Laily Endah Fatmawati, ST., MT.)
Keterangan : 1. Bimbingan WAJIB dilakukan minimal 2 minggu sekali 2. Mahasiswa WAJIB sudah melakukan publikasi jurnal / seminar nasional / internasional yang terakreditasi 3. Segala bentuk pelanggaran dapat dikenakan sanksi dari Program Studi Teknik Sipil Untag Surabaya		
Mengetahui, Ka. Program Studi Teknik Sipil (Ir. Faradillah Saves, ST., MT.)		
1		

Gambar L.2 : Lembar Bimbingan Tugas Akhir




PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR


Minggu	No	Tanggal	Uraian Perbaikan / Konsultasi	Paraf Dosen Pembimbing
Ke - 1 dan 2 Perkuliahan		09 / 03 2025	Asistensi Langkah-langkah Bab 1	MSS.
		14 / 03 2025	Asistensi Pengujian Agregat	MSS.
Ke - 3 dan 4 Perkuliahan		17 / 03 2025	Asistensi Pengujian Filler	MSS.
		15 / 04 2025	Asistensi Pengujian Aspal	MSS.
Ke - 5 dan 6 Perkuliahan		25 / 04 2025	Asistensi Pengujian Campuran Agregat	MSS.
		05 / 05 2025	Asistensi Pengujian Artikel	MSS.
Ke - 7 dan 8 Perkuliahan		16 / 05 2025	Asistensi Laporan Bab 1	MSS.
		26 / 05 2025	Revisi laporan Bab 1 dan lanjut Bab 5	MSS.


24 2

Gambar L.2 : Lembar Bimbingan Tugas Akhir (Lanjutan)


 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Minggu	No	Tanggal	Uraian Perbaikan / Konsultasi	Paraf Dosen Pembimbing
Ke - 9 dan 10 Perkuliahan		03/06 2025	Ade Siap Samhas	
Ke - 11 dan 12 Perkuliahan				
Ke - 13 dan 14 Perkuliahan				
Ke - 15 Perkuliahan				



Gambar L.3 : Lembar Revisi Sidang Tugas Akhir



PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id

Lampiran 3

PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR
TAHUN AKADEMIK GASAL 2024/2025

Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal **Rabu, 11 Juni 2025** dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : Satria Pradana
 NBI/NIM : 1432100058
 Judul : PERBANDINGAN NILAI STABILITAS MARSHALL PADA CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN BATU KAPUR SEBAGAI FILLER

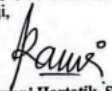
Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) Sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
-	perbaiki tabel & qbc sesuai basis aspal Rencana ✓	<div style="text-align: right;"> 24/6/25 Pr. Purni </div>
-	perjelas hasil analisis penelitian Perbandingan hasil analisis. tns 4 ✓	
-	lengkapi & perbaiki semua arde & uraian penguji ✓	

Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:


: Lulus tanpa perbaikan
 : Lulus dengan perbaikan
 : Dilakukan Sidang TA ulang

(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (✓) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, **11 Juni 2025**
 Penguji,

(Ir. Nurani Hartatik, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng)

Gambar L.3 : Lembar Revisi Sidang Tugas Akhir (Lanjutan)

Lampiran 3




PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
 Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
 Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id

PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR
TAHUN AKADEMIK GASAL 2024/2025

Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal Rabu, 11 Juni 2025 dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : Satria Pradana
 NBI/NIM : 1432100058
 Judul : PERBANDINGAN NILAI STABILITAS MARSHALL PADA CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN BATU KAPUR SEBAGAI FILLER

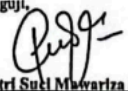
Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
1.	perbaikan esusi catatan saat sidang	
2.	tambahkan tabel pembahasan.	
3.	selesaikan rumusan masalah dgn kesimpulan	
4.	rumusan masalah 1, tambahkan di bab 2 dulu keranya dan di bahas di bab 4	


Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:

: Lulus tanpa perbaikan
 : Lulus dengan perbaikan
 : Dilakukan Sidang TA ulang

(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (√) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, 11 Juni 2025
 Penguji

(Patri Suel Mawariza S.T.,M.T)

Gambar L.3 : Lembar Revisi Sidang Tugas Akhir (Lanjutan)



PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id

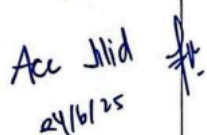
Lampiran 3

PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR
TAHUN AKADEMIK GASAL 2024/2025

Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal **Rabu, 11 Juni 2025** dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : Satria Pradana
 NBI/NIM : 1432100058
 Judul : PERBANDINGAN NILAI STABILITAS MARSHALL PADA CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN LIMBAH KERAK TUNGKU PEMBAKARAN GENTENG DAN BATU KAPUR SEBAGAI FILLER

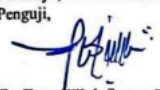
Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) Sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
1.	Perbaiki tujuan dengan kesimpulan.	 Ace Jlid 24/6/25
2.	Tuliskan bagaimana mesin diproses!	
3.	Graph	
7.	Perbaiki tabel yang selor antara perbandingan tsb.	




Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:

: Lulus tanpa perbaikan
 : Lulus dengan perbaikan
 : Dilakukan Sidang TA ulang


(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (√) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, 11 Juni 2025
 Penguji,

(Ir. Faradillah Saes, S.T., M.T.)

Gambar L.4 : Syarat Rekomendasi Cetak Buku Tugas Akhir

	<p>PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118 Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id</p>
<hr/>	
<p><u>SURAT REKOMENDASI CETAK BUKU TUGAS AKHIR</u></p>	
<p>Berdasarkan hasil Sidang Tugas Akhir semester Genap 2024/2025 pada hari ini Selasa, Tanggal 24 Juni 2025 yang tercantum di bawah ini :</p>	
Nama Mahasiswa	: Satria Pradana
NBI/NIM	: 1432100058
Judul Tugas Akhir	: Perbandingan Nilai Stabilitas Marshall pada Campuran AC-WC Menggunakan Limbah Kerak Tungku Pembakaran Genteng dan Batu Kapur sebagai Filler
<p>Dosen Pembimbing Tugas Akhir : I. Ir. Nurani Hartatik, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.</p>	
<p>Telah melaksanakan Sidang Tugas Akhir yang telah diselenggarakan pada : Hari / Tanggal : Rabu / 11 Juni 2025 dan telah menyelesaikan perbaikan/revisi tugas akhir dengan menyerahkan bukti perbaikan revisi di kantor Program Studi Teknik Sipil Untag Surabaya pada : Hari / Tanggal : Selasa / 24 Juni 2025 <i>24/06/2025</i></p>	
<p>Sehingga mahasiswa dapat melanjutkan proses Cetak Buku Tugas Akhir untuk syarat kelengkapan Yudisium.</p>	
<p style="text-align: right;">Surabaya, 24 Juni 2025</p>	
<p>Menyetujui: Dosen Pembimbing Tugas Akhir Prodi Teknik Sipil Untag Surabaya</p>	<p>Mengetahui: Koordinator Tugas Akhir Prodi Teknik Sipil Untag Surabaya</p>
 Ir. Nurani Hartatik, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. (0726067802)	 Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T. (0701109002)

Gambar L.4 : Syarat Rekomendasi Cetak Buku Tugas Akhir (Lanjutan)



Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
 Kampus : Jl. Semolowaru No. 45 Surabaya 60118
 Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id E-mail : sipil@untag-sby.ac.id

SYARAT REKOMENDASI CETAK BUKU TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

Nama lengkap	: Satria Pradana
NBI	: 1432100058

1. Membawa bukti penyelesaian revisi Tugas Akhir yang sudah ditanda tangani oleh masing-masing dosen penguji → Prodi *20/06/2025*
2. Membawa bukti bimbingan Tugas Akhir dan Persetujuan mengikuti sidang Tugas Akhir (Asli)
3. Membawa bukti publikasi jurnal yang sudah terbit / sertifikat seminar yang telah diikuti mahasiswa
4. Mahasiswa mengambil lembar check list kelengkapan Cetak buku TA di Prodi
5. Pastikan susunan Bab pada Tugas Akhir tersusun sebagai berikut (Klip Hitam)

No	Bab Tugas Akhir	Nama File	Keterangan	Checklist	Ket
1	Halaman Cover/ Sampul Bahasa Indonesia	NIM_Cover_id	Word, pdf	✓	
2	Halaman Cover/ Sampul Bahasa Inggris	NIM_Cover_eng	Word, Pdf	✓	
3	Halaman Pengesahan Scan (lengkap ttd)	NIM_Approval_Sheet	Pdf	✓	<i>td setelah pin (lengkap)</i>
4	Surat Pernyataan Orisinalitas	NIM_Originalitas_Letter	Pdf (materai)	✓	<i>td setelah pin + materai (lengkap)</i>
5	Kata Pengantar	NIM_Preface	Word, Pdf	✓	
6	Abstrak Bahasa Indonesia	NIM_Abstract_id	Word, Pdf	✓	
7	Abstrak Bahasa Inggris	NIM_Abstract_eng	Word, Pdf	✓	
8	Daftar Isi	NIM_Table_of_content	Word, Pdf	✓	
9	Daftar Gambar	NIM_List_of_Figures	Word, Pdf	✓	
10	Daftar Tabel	NIM_List_of_Table	Word, Pdf	✓	<i>+ lengkap lampiran</i>
11	Isi Tugas Akhir BAB I	NIM_BAB I	Word, Pdf	✓	
12	Isi Tugas Akhir BAB II	NIM_BAB II	Word, Pdf	✓	
13	Isi Tugas Akhir BAB III	NIM_BAB III	Word, Pdf	✓	
14	Isi Tugas Akhir BAB IV	NIM_BAB IV	Word, Pdf	✓	
15	Kesimpulan	NIM_Conclusion	Word, Pdf	✓	
16	Daftar Pustaka	NIM_Bibliography	Word, Pdf	✓	
17	Biodata Penulis	NIM_Author	Word, Pdf	✓	
18	Lampiran	NIM_Attachment	Word, Pdf	✓	

6. Semua kelengkapan dibawa secara *hardfile* dan *softfile*
7. Setelah *hardfile* sudah sesuai dengan susunan, mahasiswa bisa mengunggah file pada link *softfile*
8. Untuk *Softfile* mahasiswa dapat mengisi Link Berikut ini : <https://bit.ly/syaratCETAKBUKUTA-GNP2425>
9. Surat rekomendasi cetak didapatkan setelah semua syarat terpenuhi

Surabaya, 24 Juni 2025
 Koor. Tugas Akhir Prodi Teknik Sipil,

[Signature]
Ir. Lally Endah Fatmawati, ST., MT
 NPP. 20430.17.0762

TUGAS AKHIR SATRIA PRADANA

ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

16%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

15%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya Student Paper	8%
2	repository.untag-sby.ac.id Internet Source	3%
3	ebook.itenas.ac.id Internet Source	1%
4	Muhammad Farid Hadi, Sapto Budi Wasono, Hendro Sutowijoyo. "ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK STABILITAS CAMPURAN ASPAL KARET UNTUK LAPISAN ASPAL BETON AC-BC", NAROTAMA JURNAL TEKNIK SIPIL, 2021 Publication	1%
5	www.taguchi.lppmbinabangsa.id Internet Source	1%
6	Ilham Maulana Syafi, Nurani Hartatik, Aditya Rizkiardi. "Karakteristik Penggunaan Limbah Serbuk Kaca pada Campuran Aspal Laston (AC-BC) Terhadap Parameter Marshall", Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 2024 Publication	1%
7	ejournal.itn.ac.id Internet Source	1%

8	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	1 %
9	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	1 %
10	repository.ustjogja.ac.id Internet Source	1 %
11	repository.unwira.ac.id Internet Source	<1 %
12	pdfcoffee.com Internet Source	<1 %
13	adoc.pub Internet Source	<1 %
14	ejurnal.untag-smd.ac.id Internet Source	<1 %
15	repository.upstegal.ac.id Internet Source	<1 %
16	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
17	repository.unimal.ac.id Internet Source	<1 %
18	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
19	repository.uhn.ac.id Internet Source	<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On