



**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATU BARA (FLY  
ASH) TERHADAP NILAI STABILITAS SEBAGAI  
CAMPURAN LAPIS ASPAL AC-WC DENGAN  
METODE MARSHALL TEST**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Rangka Penyelesaian  
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Sipil

Oleh :  
**INDI AYUNINGTYAS**  
**NPM. 6520600052**

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER**  
**UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**  
**2024**



**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATU BARA (FLY  
ASH) TERHADAP NILAI STABILITAS SEBAGAI  
CAMPURAN LAPIS ASPAL AC-WC DENGAN  
METODE MARSHALL TEST**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Rangka Penyelesaian  
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Sipil

Oleh :  
**INDI AYUNINGTYAS**  
**NPM. 6520600052**

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER**  
**UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**  
**2024**

## LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

Skripsi yang berjudul “PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATU BARA (*FLY ASH*) TERHADAP NILAI STABILITAS SEBAGAI CAMPURAN LAPIS ASPAL AC-WC DENGAN METODE MARSHALL TEST”

NAMA PENULIS : INDI AYUNINGTYAS

NPM : 6520600052

Telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk dipertahankan dihadapan sidang dewan penguji skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

Hari : Rabu

Tanggal : 10 Juli 2024

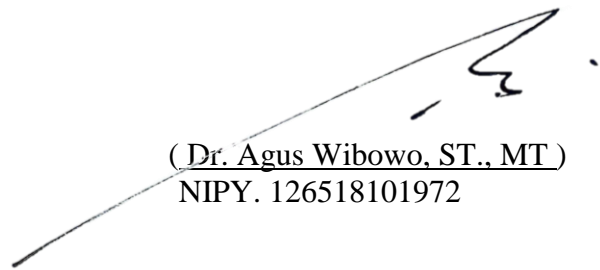
Pembimbing I



(Okky Hendra H, ST., MT)

NIPY. 24461531983

Pembimbing II



(Dr. Agus Wibowo, ST., MT)

NIPY. 126518101972

## HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal

Pada hari : Senin

Tanggal : 22 Juli 2024

**Ketua Penguji :**

( Rustono, ST, M.Eng. )

NIPY. 14054121974

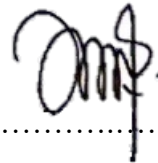


(.....)

**Penguji Utama :**

( Nadva Shafira S, ST., MT. )

NIPY. 30161841996



(.....)

**Penguji I :**

( Okky Hendra Hermawan, MT. )

NIPY. 24461531983



(.....)

**Penguji II :**

(Dr. Agus Wibowo, ST, MT.)

NIPY. 126518101972

(.....)

Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik Dan Ilmu Komputer



(Dr. Agus Wibowo, ST., MT.)  
NIPY. 126518101972

## HALAMAN PERNYATAAN

Dalam penulisan skripsi ini saya tidak melakukan penjiplakan dengan ini, saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATU BARA (FLY ASH) TERHADAP NILAI STABILITAS SEBAGAI CAMPURAN LAPIS ASPAL AC-WC DENGAN METODE MARSHALL TEST”** ini dan seluruh isinya adalah benar benar karya saya sendiri. Atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika yang berlaku dalam masyarakat keilmuan sebagaimana mestinya.

Demikian pernyataan ini untuk dijadikan sebagai pedoman bagi yang berkepentingan dan saya siap menanggung segala resiko dan sanksi yang diberikan kepada saya apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran atas etika keilmuan dalam karya tulis ini, atau adanya klaim atas karya tulis ini.

Tegal, Sabtu 3 Februari 2024



NPM. 6520600052

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

1. Kesalahan yang anda buat adalah bukti bahwa anda telah berusaha.
2. Kerjakanlah apa yang perlu dikerjakan sekarang, tak perlu menunda hingga waktunya habis.
3. Jangan pernah merasa sia-sia dalam menuntut ilmu, karena ilmu pasti akan bermanfaat pada waktunya.

### **PERSEMBAHAN**

Skripsi ini penulis persembahkan kepada :

1. Puji syukur Alhamdulillah saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan HidayatNya kepada saya, sehingga saya bisa mengerjakan skripsi ini sesuai dengan apa yang saya inginkan dan dalam keadaan sehat.
2. Kedua orang tua saya dan keluarga saya yang telah membiayai kuliah saya dan mensupport serta selalu mendoakan saya.
3. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal yang telah memberikan ilmunya kepada saya selama saya masuk kelas untuk mengikuti mata kuliah, terutama dosen pembimbing I Bapak Okky Hendra Hermawan, ST., MT. dan dosen pembimbing II Dr. Agus Wibowo, ST., MT. yang sudah dengan sabar membimbing saya dalam mengerjakan skripsi ini.
4. Saudara Ryan Aziz Fauzi yang telah menemani dan memberikan bantuan serta dorongan semangat sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. PT. Bangun Anugrah Beton Nusantara, yang telah mengizinkan saya untuk melakukan penelitian di Laboratorium tersebut, serta memberikan bantuan dan pendampingan pada saya.
6. Sahabat dan teman-teman yang saya kenal, terutama teman-teman seangkatan tahun 2020 yang sudah mensupport dan mendoakan saya dalam mengerjakan skripsi ini, semoga hal-hal baik selalu menanti kalian.

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini dengan judul “Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Terhadap Nilai Stabilitas Sebagai Campuran Lapis Aspal AC-WC Dengan Metode Marshall Test”. Penyusunan proposal skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan studi stara Program Studi Teknik Sipil.

Dalam penyusunan dan penulisan proposal skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
2. Bapak Okky Hendra Hermawan, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II.
4. Segenap Dosen dan Staf Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
5. Bapak dan Ibuku yang tak pernah lelah mendoakanku.
6. PT. Bangun Anugrah Beton Nusantara yang telah mengizinkan dan membantu saya dalam penelitian dalam rangka penyusunan skripsi ini.
7. PT. Kamajati yang telah mengizinkan dan membantu saya dalam penelitian dalam rangka penyusunan skripsi ini.
8. Saudara Ryan Aziz Fauzi yang tak kalah penting kehadirannya, terimakasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Berkontribusi banyak dalam penulisan skripsi ini, memberikan dukungan, semangat,, tenaga, pikiran, maupun waktu kepada penulis. Telah mendukung, menghibur, mendengarkan keluh kesah, dan memberikan semangat untuk pantang menyerah.
9. Teman-teman baik di kampus yang telah memberikan dukungan moral dalam penyusunan proposal skripsi ini.

Penulis telah mencoba membuat proposal skripsi ini sesempurna mungkin semampu kemampuan penulis, namun demikian mungkin ada kekurangan yang tidak terlihat oleh penulis untuk itu mohon masukan untuk kebaikan dan pemanfaatannya. Harapan penulis, semoga proposal skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Tegal, Oktober 2023

Penulis

Indi Ayuningtyas



## ABSTRAK

Indi Ayuningtyas, 2024 “**Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Terhadap Nilai Stabilitas Sebagai Campuran Lapis Aspal AC-WC dengan Metode Marshall Test**”. Laporan Skripsi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal 2024.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah batu bara (*fly ash*) terhadap peningkatan karakteristik campuran lapis aspal AC-WC dan mengetahui nilai kuat tekan aspal AC-WC dengan menggunakan metode pengujian stabilitas sampai pengujian Marshall Quotient dengan menggunakan alat Marshall Test. Karena itu peneliti akan melakukan penelitian dengan mencoba menambahkan *fly ash* ke campuran tersebut sesuai dengan acuan pada SNI Bina Marga 2018 Revisi 2. Dengan menggabungkan *fly ash* dalam campuran aspal, diharapkan dapat menciptakan jalan raya yang lebih kuat dan lebih tangguh, mengurangi biaya perawatan jalan, serta dapat mengurangi limbah batu bara yang dimana jika tidak dimanfaatkan dalam waktu yang lama akan mencemari lingkungan dan dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup di sekitar.

Penambahan *fly ash* yang digunakan ada 4 variasi yaitu dengan campuran filler 0%, 5%, 10% dan 15%. Dari pengujian Stabilitas Marshall yang dilakukan dengan penambahan filler sebanyak 0% nilainya sebesar 900 kg, pada filler 5% sebesar 1325 kg, pada filler 10% sebanyak 1405 kg, dan pada filler 15% sebanyak 1853 kg. Pengujian *flow*/kelelehan dengan penambahan filler 0% sebesar 3,44 mm, pada filler 5% sebesar 2,35 mm, pada filler 10% sebesar 3,62 mm, dan pada filler 15% sebesar 2,28 mm. Pengujian Marshall Quotient untuk penambahan filler 0% sebesar 275,8 kg/mm, pada filler 5% sebesar 653,6 kg/mm, pada filler 10% sebesar 417,7 kg/mm, dan pada filler 15% sebesar 915,7 kg/mm.

**Kata Kunci** : Marshall Test, limbah batu bara (*fly ash*), aspal (AC-WC)

## ABSTRACT

Indi Ayuningtyas, 2024 *"The Effect of Adding Coal Waste (Fly Ash) on the Stability Value of an AC-WC Asphalt Layer Mixture Using the Marshall Test Method"*. Civil Engineering Thesis Report, Faculty of Engineering and Computer Science, Pancasakti University, Tegal 2024.

*This research aims to determine the effect of adding coal waste (fly ash) on improving the characteristics of the AC-WC asphalt layer mixture and to determine the compressive strength value of AC-WC asphalt using the stability testing method to Marshall Quotient testing using the Marshall Test tool. Therefore, researchers will conduct research by trying to add fly ash to the mixture in accordance with the references in SNI Bina Marga 2018 Revision 2. By combining fly ash in the asphalt mixture, it is hoped that it can create stronger and more resilient highways, reduce road maintenance costs, and can reduce coal waste which, if not used for a long time, will pollute the environment and can harm the health of living creatures in the area.*

*There are 4 variations of fly ash added, namely with a filler mixture of 0%, 5%, 10% and 15%. From the Marshall Stability test carried out with the addition of 0% filler the value was 900 kg, with 5% filler it was 1325 kg, with 10% filler it was 1405 kg, and with 15% filler it was 1853 kg. Flow/melt testing with the addition of 0% filler was 3.44 mm, with 5% filler it was 2.35 mm, with 10% filler it was 3.62 mm, and with 15% filler it was 2.28 mm. Marshall Quotient testing for the addition of 0% filler was 275.8 kg/mm, for 5% filler it was 653.6 kg/mm, for 10% filler it was 417.7 kg/mm, and for 15% filler it was 915.7 kg /mm.*

**Keywords :** *Marshall Test, coal waste (fly ash), asphalt (AC-WC)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xx</b>
<b>DAFTAR LAMBANG ATAU NOTASI .....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Batasan Masalah.....	3
C. Rumusan Masalah .....	5
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	6
F. Sistematika Penulisan.....	7
<b>BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
A. Landasan teori .....	8
1. Perkerasan Jalan .....	8
2. Jenis-Jenis Perkerasan Jalan.....	8
3. Aspal.....	10
4. Aspal Keras .....	11
5. Karakteristik Aspal.....	12

6. Pengujian Aspal.....	16
7. Agregat .....	18
8. Klasifikasi Agregat.....	18
9. Pengujian Agregat .....	19
10. Limbah Batu Bara .....	21
11. Fly Ash .....	22
12. Marshall Test.....	22
B. Tinjauan Pustaka .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
A. Metode Penelitian.....	32
B. Waktu dan Tempat Penelitian .....	33
1. Waktu Penelitian .....	33
2. Tempat Penelitian.....	33
C. Variabel Penelitian .....	34
D. Instrumen Penelitian.....	34
1. Alat.....	35
2. Bahan.....	45
3. Tahap Pengujian .....	47
E. Metode Pengumpulan Data .....	79
F. Metode Analisa Data .....	89
G. Diagram Alir Penelitian .....	98
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>99</b>
A. Hasil Penelitian .....	99
1. Pengujian Agregat .....	99
2. Job Mix Formula .....	120
3. Pengujian Benda Uji ( <i>Marshall Test</i> ).....	125
4. Pengujian Aspal.....	133
B. Pembahasan .....	139
1. Pengujian Agregat .....	139
2. Pengujian Marshall.....	141
3. Pengujian Aspal.....	159

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>161</b>
A. Kesimpulan.....	161
B. Saran.....	162
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxvi</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur .....	9
<b>Gambar 3. 1</b>	Timbangan Digital .....	35
<b>Gambar 3. 2</b>	Bak Perendaman .....	35
<b>Gambar 3. 3</b>	Termogun.....	36
<b>Gambar 3. 4</b>	Satu Set Alat Memasak.....	36
<b>Gambar 3. 5</b>	Automatic Asphalt Compactor .....	37
<b>Gambar 3. 6</b>	Cetakan Benda Uji AC-WC.....	37
<b>Gambar 3. 7</b>	Mesin Sieve Shaker .....	38
<b>Gambar 3. 8</b>	Penampan (Cawan).....	38
<b>Gambar 3. 9</b>	Sekop Kecil dan Sendok Spesi .....	38
<b>Gambar 3. 10</b>	Extruder .....	39
<b>Gambar 3. 11</b>	Mesin Los Angeles .....	39
<b>Gambar 3. 12</b>	Ember.....	40
<b>Gambar 3. 13</b>	Kanebo.....	40
<b>Gambar 3. 14</b>	Piknometer.....	40
<b>Gambar 3. 15</b>	Alat Slump Agregat Halus.....	41
<b>Gambar 3. 16</b>	Alat Uji Marshall .....	41
<b>Gambar 3. 17</b>	Jangka Sorong.....	42
<b>Gambar 3. 18</b>	Ketel/Teko .....	42
<b>Gambar 3. 19</b>	Saringan Agregat .....	42
<b>Gambar 3. 20</b>	Piknometer Kecil .....	43
<b>Gambar 3. 21</b>	Termometer Batang .....	43
<b>Gambar 3. 22</b>	Alat Pengujian GMM .....	43
<b>Gambar 3. 23</b>	Alat Penetrasi Aspal .....	44
<b>Gambar 3. 24</b>	Alat Titik Lembek Aspal .....	44
<b>Gambar 3. 25</b>	Plat Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal .....	45
<b>Gambar 3. 26</b>	Agregat Halus .....	45
<b>Gambar 3. 27</b>	Agregat Kasar .....	46

<b>Gambar 3. 28</b> Aspal .....	46
<b>Gambar 3. 29</b> Fly Ash .....	47
<b>Gambar 3. 30</b> Penyediaan Agregat .....	47
<b>Gambar 3. 31</b> Penyediaan Aspal.....	47
<b>Gambar 3. 32</b> Mencuci Agregat .....	48
<b>Gambar 3. 33</b> Mengeringkan Agregat setelah Dicuci .....	48
<b>Gambar 3. 34</b> Sample I Agregat Tertahan Saringan ½” dan 3/8” .....	49
<b>Gambar 3. 35</b> Sample II Agregat Tertahan Saringan ½” dan 3/8” .....	49
<b>Gambar 3. 36</b> Memasukkan Agregat & Bola Baja ke Mesin .....	49
<b>Gambar 3. 37</b> Hasil Pengujian Abrasi Sample I.....	50
<b>Gambar 3. 38</b> Hasil Pengujian Abrasi Sample II.....	50
<b>Gambar 3. 39</b> Abu Batu (Sample I, II, dan III) .....	51
<b>Gambar 3. 40</b> Agregat 0-5 (Sample I, II, dan III).....	51
<b>Gambar 3. 41</b> Agregat 1-2 (Sample I, II, dan III).....	51
<b>Gambar 3. 42</b> Proses Penyaringan dengan Sieve Shaker .....	52
<b>Gambar 3. 43</b> Penimbangan Agregat di Setiap Saringan .....	52
<b>Gambar 3. 44</b> Perendaman Agregat Kasar .....	53
<b>Gambar 3. 45</b> Mengeringkan Agregat dengan Kanebo .....	53
<b>Gambar 3. 46</b> Menimbang Agregat Keadaan Jenuh (2000 gr).....	53
<b>Gambar 3. 47</b> Menimbang Agregat di Dalam Air .....	54
<b>Gambar 3. 48</b> Menimbang Agregat Kering Oven .....	54
<b>Gambar 3. 49</b> Pengecekan Abu Batu dengan Alat Slump.....	55
<b>Gambar 3. 50</b> Menimbang Agregat 500 gram .....	55
<b>Gambar 3. 51</b> Menimbang Agregat setelah Dikeringkan .....	56
<b>Gambar 3. 52</b> Menimbang Agregat + Piknometer + Air .....	56
<b>Gambar 3. 53</b> Job Mix Formula.....	56
<b>Gambar 3. 54</b> Menimbang Agregat sesuai Job Mix .....	57
<b>Gambar 3. 55</b> Memanaskan Agregat serta Aspal .....	57
<b>Gambar 3. 56</b> Menimbang Aspal pada Variasi Limbah 0% .....	57
<b>Gambar 3. 57</b> Menimbang Aspal pada Variasi Limbah 5% .....	58
<b>Gambar 3. 58</b> Menimbang Aspal pada Variasi Limbah 10% .....	58

<b>Gambar 3. 59</b> Menimbang Aspal pada Variasi Limbah 15% .....	58
<b>Gambar 3. 60</b> Mengaduk Campuran Agregat dengan Aspal.....	59
<b>Gambar 3. 61</b> Meletakkan Kertas Penghisap .....	59
<b>Gambar 3. 62</b> Masukkan Campuran ke Dalam Cetakan .....	60
<b>Gambar 3. 63</b> Padatkan Campuran Sebanyak 75x2 .....	60
<b>Gambar 3. 64</b> Melepaskan Kertas Penghisap .....	60
<b>Gambar 3. 65</b> Mengeluarkan Benda Uji.....	61
<b>Gambar 3. 66</b> Memberi Tanda pada Benda Uji.....	61
<b>Gambar 3. 67</b> Mengukur Tinggi Benda Uji.....	62
<b>Gambar 3. 68</b> Menimbang Benda Uji dalam Keadaan Kering.....	62
<b>Gambar 3. 69</b> Menimbang Benda Uji di dalam Air .....	62
<b>Gambar 3. 70</b> Merendam Benda Uji selama 10 Menit.....	63
<b>Gambar 3. 71</b> Menimbang Benda Uji pada Kondisi SSD .....	63
<b>Gambar 3. 72</b> Merendam Benda Uji selama 10 Menit .....	64
<b>Gambar 3. 73</b> Mengangkat Benda Uji dari Water Bath .....	64
<b>Gambar 3. 74</b> Meletakkan Benda Uji pada Alat Penguji .....	64
<b>Gambar 3. 75</b> Menempatkan Alat Penekan pada Alat Penguji .....	65
<b>Gambar 3. 76</b> Memasang Arloji Flow pada Tempatnya .....	65
<b>Gambar 3. 77</b> Periksa Nilai Stabilitas dan Nilai Flow.....	66
<b>Gambar 3. 78</b> Memasak Campuran Aspal Panas .....	66
<b>Gambar 3. 79</b> Menimbang Berat Tempat <b>(B)</b> .....	67
<b>Gambar 3. 80</b> Menimbang Berat Tempat + Sampel <b>(A)</b> .....	67
<b>Gambar 3. 81</b> Menimbang Berat Tempat + Air <b>(D)</b> .....	67
<b>Gambar 3. 82</b> Memasukkan Campuran Aspal pada Tempat .....	68
<b>Gambar 3. 83</b> Mengeluarkan Udara dengan Mesin Vakum .....	68
<b>Gambar 3. 84</b> Goyang Labu Selama 2 menit .....	69
<b>Gambar 3. 85</b> Menimbang Berat Tempat + Sampel + Air .....	69
<b>Gambar 3. 86</b> Memanaskan Aspal Untuk Uji Penetrasi.....	69
<b>Gambar 3. 87</b> Menuangkan Aspal pada Cawan .....	70
<b>Gambar 3. 88</b> Mendinginkan Aspal pada Suhu Ruangan.....	70
<b>Gambar 3. 89</b> Merendam Aspal pada Suhu 25°C.....	70



<b>Gambar 3. 90</b> Pengujian Penetrasi Aspal .....	71
<b>Gambar 3. 91</b> Mengatur Alat Penetrometer.....	71
<b>Gambar 3. 92</b> Jarum Menyentuh Permukaan Aspal .....	71
<b>Gambar 3. 93</b> Pengujian Penetrasi Aspal .....	72
<b>Gambar 3. 94</b> Memanaskan Aspal Untuk Uji Titik Lembek.....	72
<b>Gambar 3. 95</b> Menuangkan Aspal pada Cetakan Cincin.....	73
<b>Gambar 3. 96</b> Merendam Benda Uji pada Air Suhu 5°C .....	73
<b>Gambar 3. 97</b> Pengujian Titik Lembek Aspal .....	74
<b>Gambar 3. 98</b> Memanaskan Aspal Untuk Uji Titik Nyala/Bakar.....	74
<b>Gambar 3. 99</b> Menuangkan Aspal pada Cawan Pengujian .....	75
<b>Gambar 3. 100</b> Mulai Menyalakan Alat Penguji Titik Nyala.....	75
<b>Gambar 3. 101</b> Titik Nyala Aspal.....	76
<b>Gambar 3. 102</b> Titik Bakar Aspal.....	76
<b>Gambar 3. 103</b> Membentuk Aspal Menjadi Bulatan.....	77
<b>Gambar 3. 104</b> Berat Piknometer Kosong (A) .....	77
<b>Gambar 3. 105</b> Berat Piknometer + Air (B) .....	77
<b>Gambar 3. 106</b> Berat Piknometer + Aspal (C) .....	78
<b>Gambar 3. 107</b> Berat Piknometer + Aspal +Air (D) .....	78
<b>Gambar 3. 108</b> Diagram Alir Penelitian.....	98

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 2</b> Ketentuan Aspal Keras .....	17
<b>Tabel 2. 3</b> Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal .....	20
<b>Tabel 2. 4</b> Ketentuan Agregat Kasar .....	21
<b>Tabel 2. 5</b> Batasan Nilai Stabilitas Campuran Lapis Aspal AC-WC .....	23
<b>Tabel 2. 6</b> Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC) .....	25
<b>Tabel 3. 1</b> Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	33
<b>Tabel 3. 2</b> Job Mix Formula dengan campuran limbah batu bara (fly ash) .....	89
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Pengujian Keausan Agregat.....	99
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Abu Batu.....	102
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat 0-5 .....	103
<b>Tabel 4. 4</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat 1-2.....	104
<b>Tabel 4. 5</b> Hasil Pengujian Analisis Saringan Filler Fly Ash.....	105
<b>Tabel 4. 6</b> Kombinasi Agregat Variasi Filler 0% .....	112
<b>Tabel 4. 7</b> Kombinasi Agregat Variasi Filler 5% .....	113
<b>Tabel 4. 8</b> Kombinasi Agregat Variasi Filler 10% .....	114
<b>Tabel 4. 9</b> Kombinasi Agregat Variasi Filler 15% .....	115
<b>Tabel 4. 10</b> Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat 0-5 .....	116
<b>Tabel 4. 11</b> Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat 1-2 .....	116
<b>Tabel 4. 12</b> Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Abu Batu .....	117
<b>Tabel 4. 13</b> Berat Jenis dan Penyerapan Air Filler (Fly Ash) .....	117
<b>Tabel 4. 14</b> Hasil Rincian Job Mix 100% Material dan Job Mix Formula .....	120
<b>Tabel 4. 15</b> Hasil Pengujian GMM Variasi Filler 0% .....	126
<b>Tabel 4. 16</b> Hasil Pengujian GMM Variasi Filler 5% .....	126
<b>Tabel 4. 17</b> Hasil Pengujian GMM Variasi Filler 10% .....	127
<b>Tabel 4. 18</b> Hasil Pengujian GMM Variasi Filler 15% .....	127
<b>Tabel 4. 19</b> Hasil Pengujian Marshall .....	130
<b>Tabel 4. 20</b> Sifat-sifat Campuran Aspal dengan Metode Marshall .....	131
<b>Tabel 4. 21</b> Hasil Pengujian Penetrasi Aspal.....	134

<b>Tabel 4. 22</b> Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal .....	135
<b>Tabel 4. 23</b> Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal.....	136
<b>Tabel 4. 24</b> Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal.....	137
<b>Tabel 4. 25</b> Hasil Kombinasi Gradasi Agregat.....	140
<b>Tabel 4. 26</b> Hasil Pengujian Stabilitas.....	142
<b>Tabel 4. 27</b> Hasil Pengujian Kelelehan (Flow) .....	143
<b>Tabel 4. 28</b> Hasil Pengujian MQ (Marshall Quotient) .....	145
<b>Tabel 4. 29</b> Hasil Pengujian VIM (Void In Mix) .....	147
<b>Tabel 4. 30</b> Hasil Pengujian VMA (Void in Mineral Aggregate) .....	149
<b>Tabel 4. 31</b> Hasil Pengujian VFA (Void Filled Asphalt) .....	151
<b>Tabel 4. 32</b> Hasil Pengujian Kepadatan (Density) .....	153
<b>Tabel 4. 33</b> Campuran Aspal Terbaik dan Kurang Baik .....	154
<b>Tabel 4. 34</b> Hasil Uji Normalitas Stabilitas Aspal .....	155
<b>Tabel 4. 35</b> Hasil Uji Homogenitas Stabilitas Aspal.....	156
<b>Tabel 4. 36</b> Hasil Uji Linieritas Stabilitas Aspal.....	157
<b>Tabel 4. 37</b> ANOVA Uji Regresi Stabilitas .....	158
<b>Tabel 4. 38</b> Model Summary dan Coefficients Stabilitas.....	158

## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik 4. 1</b> Hasil Kombinasi Gradasi Agregat .....	140
<b>Grafik 4. 2</b> Hubungan Stabilitas dan Kadar Filler .....	142
<b>Grafik 4. 3</b> Hubungan Flow dan Kadar Filler .....	144
<b>Grafik 4. 4</b> Hubungan MQ (Marshall Quotient) dan Kadar Filler .....	146
<b>Grafik 4. 5</b> Hubungan VIM (Void In Mix) dan Kadar Filler .....	148
<b>Grafik 4. 6</b> Hubungan VMA (Void in Mineral Aggregate) dan Kadar Filler ....	149
<b>Grafik 4. 7</b> Hubungan VFA (Void Filled Asphalt) dan Kadar Filler .....	151
<b>Grafik 4. 8</b> Hubungan Kepadatan (Density) dan Kadar Filler .....	153
<b>Grafik 4. 9</b> Grafik Stabilitas Aspal.....	157

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1** Dokumentasi pada saat Proses Pengujian
- Lampiran 2** Formulir Pengujian Abrasai Agregat
- Lampiran 3** Formulir Pengujian Gradasi Abu Batu
- Lampiran 4** Formulir Pengujian Gradasi Agregat 0-5
- Lampiran 5** Formulir Pengujian Gradasi Agregat 1-2
- Lampiran 6** Formulir Pengujian Gradasi Filler
- Lampiran 7** Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (0-5)
- Lampiran 8** Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (1-2)
- Lampiran 9** Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
- Lampiran 10** Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Filler
- Lampiran 11** Formulir Pengujian Marshall
- Lampiran 12** Formulir Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)
- Lampiran 13** Formulir Pengujian Penetrasi Aspal
- Lampiran 14** Formulir Pengujian Titik Lembek Aspal
- Lampiran 15** Formulir Pengujian Titik Nyala dan Bakar Aspal
- Lampiran 16** Formulir Pengujian Berat Jenis Aspal
- Lampiran 17** Surat Selesai Penelitian dari Laboratorium PT. BABN
- Lampiran 18** Surat Selesai Penelitian dari Laboratorium PT. Kamajati
- Lampiran 19** Lembar Bimbingan Skripsi dari Dosen Pembimbing 1
- Lampiran 20** Lembar Bimbingan Skripsi dari Dosen Pembimbing 2
- Lampiran 21** Laporan Kalibrasi Proving Ring
- Lampiran 22** F Tabel Untuk Perhitungan SPSS

## DAFTAR LAMBANG ATAU NOTASI

B3	: Bahan Berbahaya dan Beracun
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap
°C	: Derajat Celcius
mm	: Milimeter
gr	: Gram
kg	: Kilogram
%	: Persentase
cm	: Centimeter
Mpa	: Megapascal
Bk	: Berat Spesimen Kering Oven (gr)
Bj	: Berat Sampel Kering Permukaan Jenuh (gr)
Ba	: Berat Uji Kering Permukaan Jenuh Dalam Air (gr)
B	: Berat Piknometer Berisi Air (gr)
Bs	: Berat Sampel (gr)
Bt	: Berat Air dan Piknometer Uji (gr)
AASHTO	: <i>The American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ASTM	: <i>American Standard Testing and Material</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
MgO	: <i>magnesium oksida</i>
TiO <sub>2</sub>	: <i>titanium oksida</i>
Na <sub>2</sub> O dan K <sub>2</sub> O	: <i>basa</i>
SO <sub>3</sub>	: <i>sulfur trioksida</i>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	: <i>fosfor oksida</i>
SiO <sub>2</sub>	: <i>silika</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: <i>alumina</i>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: oksida besi
CaO	: <i>kalsium oksida</i>

S	: Nilai Stabilitas (kg)
p	: Pembaca Arloji Stabilitas
q	: Kalibrasi Alat
MQ	: Marshall Quotient (kg/mm)
F	: Nilai Flow (mm)
VMA	: Rongga udara pada mineral agregat (%)
Pmb	: Berat benda uji setelah pemadatan (gr/cc)
Pb	: Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)
Gsb	: Berat jenis efektif total agregat (gr/cc)
VIM	: Rongga udara pada campuran (%)
Gmm	: Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc)
VFA	: Persentase rongga udara terisi aspal (%)
Wm	: Berat benda uji setelah dipadatkan (gr)
Wmssd	: Berat benda uji SSD setelah dipadatkan (gr)
Wmpw	: Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)
a	: Berat benda uji semula (gr)
b	: Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (gr)
A	: Massa setiap ukuran pada jumlah contoh benda uji total
W1	: Massa setiap fraksi lolos saringan No. 4
W2	: Massa bagian yang berkurang pada contoh uji lolos saringan No. 4
Kepadatan	: Berat benda uji setelah pemadatan (gr/cc)
MS	: Marshall Stability
MF	: Marshall Flow

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Untuk memfasilitasi pergerakan mobil di tempat yang berbeda, jalan merupakan komponen penting dari infrastruktur transportasi. Lapisan perkerasan aspal adalah jenis perkerasan jalan yang masih sering dimanfaatkan di Indonesia. Untuk membuat jalan lebih nyaman dan aman, lapisan perkerasan aspal seringkali lebih fleksibel daripada lapisan perkerasan kaku.

Namun, lapisan perkerasan aspal sering mengalami erosi dalam beberapa bulan terakhir. Sumber berita terpercaya (ayotegal.com, 22/08/2023) melaporkan bahwa terdapat lubang dan kerusakan jalan yang signifikan di Kecamatan Margasari, Pagerbarang, dan Balapulang. Sebagian besar aspal telah terkelupas. Terutama saat turun hujan, jalan akan digenangi air sehingga dapat mengakibatkan kecelakaan bagi pengendara roda dua karena terpeleset.

Kasus kerusakan jalan di atas merupakan sebuah masalah serius yang memerlukan solusi yang inovatif dan berkelanjutan. Salah satu metode penyelesaian masalah ini adalah dengan memodifikasi perkerasan jalan aspal dengan menggunakan limbah batu bara.

Limbah batu bara yang berasal dari proses pembakaran batu bara di pembangkit listrik, yang terdiri dari *fly ash* dan *bottom ash*, memiliki sifat mengikat dan mengeras saat terpapar udara. Partikel abu yang terbawa gas



buang disebut abu terbang (*fly ash*), sedangkan abu yang tertinggal dan diambil dari bawah tungku disebut abu dasar (*bottom ash*). Karena kedua jenis sampah mengandung oksida logam berat yang secara alami melarutkan dan mencemari lingkungan, mereka termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). (Nadialista Kurniawan 2021)

Berdasarkan laporan dari (Liputan6.com), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batu bara diyakini menyebabkan sekitar 6.500 kematian dini setiap tahunnya. Paparan polusi udara akibat pembakaran batu bara telah secara langsung dihubungkan dengan penyakit kanker paru-paru, jantung, stroke, penyakit paru obstruktif kronik, dan kondisi pernapasan lainnya.

Khususnya, hasil pemodelan juga menunjukkan bahwa ada kekhawatiran lain selain konsekuensi kesehatan dari partikulat pembakaran batu bara. Partikel-partikel ini memiliki kemampuan untuk memasuki sirkulasi dan bahkan melewati sistem pernapasan manusia. Semua hal dipertimbangkan, paparan limbah batubara yang berkepanjangan dapat meningkatkan risiko penyakit jantung, gangguan pernapasan terus-menerus, dan dalam situasi terburuk, kematian dini.

Dari total limbah abu yang dihasilkan per produksi, *fly ash* didapatkan sebanyak  $\pm 80\%$ , dan *bottom ash* hanya didapatkan sebanyak  $\pm 20\%$ . (Aida, Lisha, and Puty 2018). Dari limbah yang dihasilkan oleh proses pembakaran batu bara, *fly ash* mengandung persentase limbah yang lebih besar daripada *bottom ash*.

Karena abu batubara mengandung komponen pozzolan dan memiliki partikel yang sangat kecil yang melewati saringan No. 200 (75 mikron / 0,075 mm), maka dapat digunakan sebagai pengisi. Oleh karena itu, abu batubara dapat digunakan dalam campuran aspal sebagai pengikat dan pengisi rongga. (Adibroto et al, 2008 dalam (Zulfhazli, Wesli 2016))

Oleh karena itu pada penelitian dengan judul **Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Terhadap Nilai Stabilitas Sebagai Campuran Lapis Aspal AC-WC Dengan Metode Marshall Test** ini mencoba menambahkan *fly ash* ke campuran lapisan permukaan AC-WC sebagai bahan tambahan. Dengan menggabungkan *fly ash* dalam campuran aspal, diharapkan dapat menciptakan jalan raya yang lebih kuat dan lebih tangguh, mengurangi biaya perawatan jalan, serta dapat mengurangi limbah batu bara yang dimana jika tidak dimanfaatkan dalam waktu yang lama akan mencemari lingkungan dan dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup di sekitar.

## **B. Batasan Masalah**

Batasan masalah membantu menjaga penulisan proposal lebih terfokus dan terisolasi. Penulis membatasi penelitian yang ada pada proposal ke dalam beberapa hal berikut :

1. Standar Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 adalah dasar untuk perencanaan campuran yang digunakan dalam penelitian ini untuk lapisan *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*.
2. Berikut ini adalah bahan yang digunakan dalam penelitian :

- a) Aspal keras Pen. 60/70 dari PT. BABN produksi Pertamina.
  - b) Agregat diambil dari CV. PRIMA LOGAM, meliputi :
    - 1) Abu Batu = Quarry Desa Danaraja, Margasari, Tegal
    - 2) Agregat Ukuran 0-5= Quarry Desa Danaraja, Margasari, Tegal
    - 3) Agregat Ukuran 1-2= Quarry Desa Danaraja, Margasari, Tegal
  - c) PT. LUMUTMAS INTERINDO, yang terletak di Jl. Raya Procot Km. 10, Kembang, Grobog Kulon, Kec. Pangkah, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah 52451, merupakan sumber limbah batubara dengan jenis *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini. Batu bara tersebut berasal dari Sumatera Utara.
3. Limbah batubara yang digunakan dalam penelitian ini sebagai campuran pengisi pada lapisan aspal AC-WC dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dibuat dengan masing-masing 3 benda uji.
4. Pengujian yang akan dilakukan meliputi :
- a) Pengujian pada Agregat
    - 1) Pengujian Keausan Agregat
    - 2) Pengujian Analisa Saringan Agregat
    - 3) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan
  - b) Pengujian pada Benda Uji (Marshall)
    - 1) Pengujian Stabilitas
    - 2) Pengujian Kelelehan / *Flow*
    - 3) Pengujian *Marshall Quetient (MQ)*
- 30 menit pada suhu 60°C dihabiskan untuk uji Perendaman Marshall.

- c) Pengujian pada Aspal
  - 1) Uji Penetrasi
  - 2) Uji Titik Lembek
  - 3) Uji Titik Nyala dan Bakar Aspal
  - 4) Uji Berat Jenis
- 5. Penelitian dilakukan di dua tempat, yaitu meliputi :
  - a) Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Pancasakti Tegal, yaitu tempat untuk melakukan pengujian agregat.
  - b) Laboratorium PT. Bangun Anugrah Beton Nusantara yang terletak di Timbangrejo, Timbangreja, Kec. Lebaksiu, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah, yaitu tempat untuk melakukan pembuatan benda uji serta pengujian benda uji.
  - c) Laboratorium PT. Kamajati (Karya Manunggal Jaya Lestari) yang terletak di Pagerwangi, Kecamatan Balapulang, Kabupaten Tegal, yaitu tempat untuk melakukan pengujian aspal serta pengujian GMM.

### C. Rumusan Masalah

Berikut ini adalah rumusan masalah yang dapat diangkat sehubungan dengan informasi latar belakang yang diberikan di atas:

1. Berapakah nilai stabilitas perkerasan aspal AC-WC yang menggunakan metode pengujian *Marshall Test* dengan penambahan *fly ash* dari limbah batu bara sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15%?

2. Bagaimana *fly ash* dari limbah batu bara yang ditambahkan sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% mempengaruhi stabilitas lapisan perkerasan aspal AC-WC yang diuji dengan alat Marshall Test?

#### **D. Tujuan Penelitian**

Berikut tujuan penelitian yang dapat dibuat berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya :

1. Untuk menentukan nilai stabilitas perkerasan aspal AC-WC yang menggunakan metode pengujian *Marshall Test* dengan penambahan *fly ash* dari limbah batu bara sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15%.
2. Untuk mengidentifikasi dampak dari limbah batu bara yang ditambahkan sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dalam mempengaruhi stabilitas lapisan perkerasan aspal AC-WC yang diuji dengan alat Marshall Test.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi yang berguna untuk menciptakan campuran lapisan perkerasan aspal yang lebih baik dan ramah lingkungan.
2. Memberikan alternatif penggunaan limbah batu bara (*fly ash*) sebagai bahan campuran filler dalam konstruksi perkerasan aspal, sehingga dapat mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan.
3. Meningkatkan pemahaman terhadap sifat bahan limbah batu bara (*fly ash*) dan pengaruhnya ketika digunakan sebagai bahan campuran filler dalam konstruksi perkerasan aspal.

## **F. Sistematika Penulisan**

Dalam menyusun tugas akhir ini, penulis menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB I Pendahuluan**

Bab ini membahas latar belakang, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II Landasan Teori dan Tinjauan Pustaka**

Bab ini memberikan penjelasan mengenai landasan teori yang akan digunakan serta tinjauan pustaka yang mencakup penelitian-penelitian sebelumnya.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab ini membahas mengenai metode penelitian, waktu dan lokasi penelitian, variabel penelitian, diagram alir, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, dan instrumen yang digunakan untuk penelitian.

### **BAB IV Hasil dan Pembahasan**

Bab ini membahas mengenai data-data penelitian yang sudah dipadatkan dan dikumpulkan yang kemudian data-data tersebut nantinya dipergunakan dalam suatu proses analisa data.

### **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang didapat serta saran dari penelitian tersebut.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Landasan teori**

##### **1. Perkerasan Jalan**

Dalam bukunya yang berjudul *Rekayasa Jalan Raya -2*, (Tenrianjeng 2012) menyatakan bahwa perkerasan jalan terdiri dari bahan pengikat dan agregat yang dimaksudkan untuk menahan beban lalu lintas. Batu pecah, batu split, batu sungai, dan sisa dari proses peleburan baja adalah beberapa jenis agregat yang digunakan. Sementara itu, tanah liat, semen, dan aspal digunakan sebagai bahan pengikat.

Meskipun perkerasan beton semen telah digunakan di ruas jalan tertentu, beton aspal masih dipertimbangkan untuk digunakan sebagai perkerasan jalan di banyak ruas jalan di Indonesia selama konstruksi dan renovasi. Ini karena perencanaan memerlukan sejumlah variabel, termasuk geografi wilayah, daya dukung dasar tanah, keadaan jalan yang sekarang ada, dan masalah ekonomi. (Weimintoro, Anggoro, and Aulia 2020)

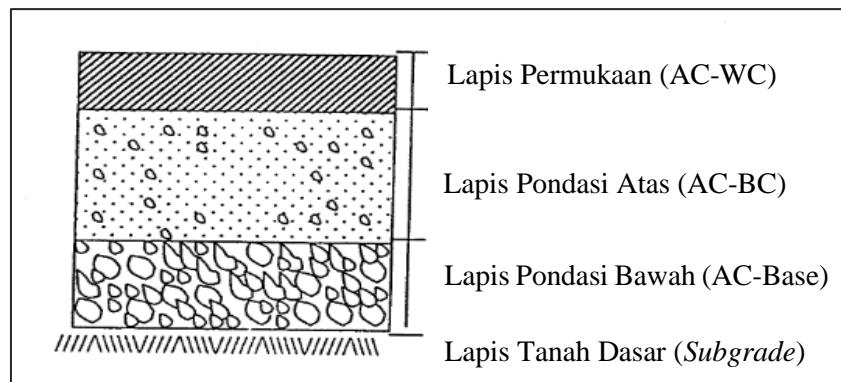
##### **2. Jenis-Jenis Perkerasan Jalan**

Dalam bukunya “*Teknik Perkerasan Jalan Lentur*”, (Caroles 2022) mengatakan bahwa perkerasan jalan dapat dibagi menjadi tiga kategori sesuai dengan bahan lapisan penutupnya, yakni :

a) Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Secara umum, perkerasan lentur digambarkan memiliki lapisan permukaan yang diikat dengan campuran aspal. Lapisan permukaan ini memiliki sifat lentur, dan suhu memiliki dampak besar pada kekuatannya. Aspal adalah bahan *visco-elastis* yang viskositas dan elastisitasnya dipengaruhi oleh suhu dan lama pembebanan. Aspal akan menjadi bahan padat elastis dan kaku yang rapuh dan rentan pecah pada suhu rendah dan interval beban pendek. Sebaliknya, pada suhu tinggi dan lama pembebanan, aspal cenderung berperilaku sebagai cairan kental yang rentan terhadap deformasi permanen.

Jalan perkotaan, jalan dengan sistem utilitas di bawah perkerasan jalan, dan jalan bahu jalan memiliki beban lalu lintas ringan hingga sedang yang ideal untuk menggunakan perkerasan lentur (Sukirman 2010).



**Gambar 2. 1** Susunan Lapis Konstruksi Perkerasan Lentur

(Sumber : (Bina Marga 2002))



Keterangan :

- Lapis Permukaan (AC-WC)
- Lapis Pondasi Atas (AC-BC)
- Lapis Pondasi Bawah (AC-Base)
- Tanah Dasar (*Subgrade*)

b) Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku, kadang-kadang disebut sebagai *rigid pavement*, adalah sejenis perkerasan jalan di mana lapisan pondasi, yang terletak di atas tanah dasar, dibangun menggunakan pelat beton semen sebagai bahan bangunan utama. Perkerasan jenis ini kadang-kadang disebut jalan beton karena komponen utamanya adalah beton. Karena lapisan permukaan beton aspal dapat ditempatkan di atas pelat beton selama konstruksi, lapisan ini sering disebut sebagai lapisan pondasi.

c) Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit adalah campuran antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Biasanya ditemui di lapangan sebagai lapisan berlapis aspal yang menutupi lapisan permukaan perkerasan kaku, seperti jalan beton.

### 3. Aspal

Kata aspal awalnya berasal dari bahasa Yunani (*asphaltos*), yang kemudian diadaptasi oleh orang Romawi menjadi *asphaltus*, dan yang akhirnya diadopsi oleh orang Inggris menjadi *asphalt*. Kemudian diterjemahkan dalam Bahasa Indonesia sebagai aspal. Abad ke-18 melihat

awal penggunaan aspal dalam konstruksi jalan. Saat itu, jalan dibangun dengan batu besar yang berfungsi sebagai dasar yang kokoh, diikuti oleh batu galian dan kerikil sebagai lapisan penutup terakhir. (Mesias 2022)

Sukirman (1992) mendefinisikan aspal sebagai zat padat sampai agak padat, yang padat sampai suhu ruangan dan berwarna hitam atau coklat tua. Untuk melapisi partikel agregat dalam beton aspal, aspal mungkin menjadi cair atau lunak ketika dipanaskan sampai suhu tertentu. Kualitas termoplastik aspal memungkinkannya untuk memadat dan menahan posisi agregatnya ketika suhu turun. Aspal juga sering disebut sebagai bitumen karena komponen utamanya adalah hidrokarbon, yang juga dikenal sebagai bitumen.

#### 4. Aspal Keras

Menurut (Sukirman 1992), aspal semen pada suhu kamar ( $25^{\circ} - 30^{\circ}\text{C}$ ) akan berwujud padat. Jenis minyak bumi yang digunakan dalam produksinya dan metode yang digunakan untuk membuatnya menentukan jenis aspal semen. Kelompok aspal semen dapat ditentukan oleh viskositasnya atau dengan nilai penetrasi pada  $25^{\circ}\text{C}$ .

Menurut (Suryadharma dkk, 2008), di Indonesia AC (*Asphalt Cement*) diklasifikasikan sebagai berikut :

- a) AC 40/50 → AC memiliki nilai penetrasi antara 40 hingga 50
- b) AC 60/70 → AC memiliki nilai penetrasi antara 60 hingga 70
- c) AC 85/100 → AC memiliki nilai penetrasi antara 85 hingga 100
- d) AC 120/150 → AC memiliki nilai penetrasi antara 120 hingga 150

e) AC 200/300 → AC memiliki nilai penetrasi antara 200 hingga 300

Sedangkan aspal semen dengan nilai penetrasi tinggi dimanfaatkan pada daerah dengan volume lalu lintas rendah atau suhu dingin, aspal semen dengan nilai penetrasi rendah dimanfaatkan pada daerah dengan iklim panas. Di Indonesia, aspal semen biasa digunakan dengan penetrasi 60/70 dan 80/100. Aspal semen harus memenuhi beberapa karakteristik umum, seperti memiliki kualitas yang identik, sumber minyak bumi yang disaring, konsentrasi parafin tidak lebih dari 20%, dan tidak adanya air atau buih pada suhu di atas 175 °C.

## 5. Karakteristik Aspal

(Sukirman 2016) menyatakan bahwa untuk digunakan pada perkerasan jalan, campuran aspal memerlukan kualitas tertentu saat merencangnya. Kualitas yang harus dimiliki campuran aspal adalah sebagai berikut :

### a) Stabilitas (*Stability*)

Kapasitas perkerasan jalan untuk mendukung beban lalu lintas tanpa berubah bentuk secara permanen menjadi gelombang, alur, atau pendarahan dikenal sebagai stabilitas. Jumlah lalu lintas yang dilayani dan fungsi jalan bergantung pada stabilitas. Stabilitas yang tinggi diperlukan untuk melayani lalu lintas kendaraan berat dan volume lalu lintas yang tinggi. Disisi lain, stabilitas tinggi tidak diperlukan untuk perkerasan jalan dengan lalu lintas kendaraan yang rendah.

Variabel-variabel berikut yang mempengaruhi stabilitas beton aspal :

- 1) Gesekan internal dipengaruhi oleh kepadatan campuran, ketebalan film aspal, gradasi agregat, area kontak antara agregat, bentuk butiran, dan kekasaran permukaan agregat. Gesekan internal antara butiran agregat yang saling berhubungan menciptakan stabilitas. Agregat dengan ukuran kecil mengisi rongga antara butir. Memilih agregat yang rapat atau bergradasi baik akan meminimalkan rongga antara butiran agregat, memungkinkan kepadatan menghasilkan stabilitas yang diinginkan.
  - 2) Kemampuan aspal untuk mentolerir kontak butir-ke-butir memberikan kekompakan, atau kekuatan ikatan. Kohesi dipengaruhi oleh sejumlah faktor, seperti penetrasi aspal, perubahan viskositas terkait suhu, variasi laju pemuatan, susunan kimia aspal, dan efek pada umur dan waktu aspal. Karakteristik penuaan atau reologi aspal menentukan kerentanannya terhadap pengerasan dan non-pengerasan, yang kemudian dapat melemahkan kohesivitas aspal
- b) Durabilitas (*Durability*)

Beton aspal memiliki kemampuan untuk menahan beban kendaraan berat dan beban lalu lintas berulang, serta keausan yang disebabkan oleh faktor cuaca dan iklim, air, dan suhu, disebut sebagai daya tahan. Jumlah pori-pori dalam campuran, kepadatan dan kekencangan campuran, dan ketebalan lapisan aspal adalah beberapa

faktor yang menentukan berapa lama beton aspal akan bertahan. Agregat akan ditutup secara merata oleh lapisan aspal yang tebal, sehingga akan meningkatkan ketahanan terhadap air pada beton aspal. Akibatnya, beton aspal akan lebih tahan terhadap keausan. Di sisi lain, ketebalan selimut aspal yang berlebihan dapat menyebabkan *bleeding* aspal, dimana aspal naik ke permukaan jalan, yang pada akhirnya membuat jalan menjadi licin. Daya tahan beton aspal juga dapat dipengaruhi oleh sejumlah besar rongga yang tersisa setelah pemadatan. Beton aspal kehilangan sebagian kedap airnya ketika lebih banyak rongga tersisa. Daya tahan selimut aspal akan berkurang jika ada banyak udara di beton aspal, karena ini akan menyebabkan oksidasi dan kerapuhan.

c) Fleksibilitas (*Flexibility*)

Istilah "fleksibilitas" menggambarkan kapasitas beton aspal untuk menyesuaikan dengan tanah dasar atau penurunan pondasi tanpa retak. Berat tanah timbunan itu sendiri, yang dibangun di atas tanah asli, atau beban lalu lintas berulang mungkin harus disalahkan atas penurunan ini. Menggunakan agregat bergradasi terbuka dengan kandungan aspal tinggi akan dapat meningkatkan fleksibilitas.

d) Tahan Terhadap Kelelahan

Kapasitas beton aspal untuk mentolerir defleksi berulang yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa menjadi lelah atau berupa

retakan atau alur dikenal sebagai ketahanan lelah. Kandungan aspal dapat ditambahkan untuk mencapai ketahanan lelah.

e) Tahan Terhadap Geser

Kekesatan permukaan adalah kemampuan beton aspal untuk menerapkan gaya gesekan pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir dalam keadaan basah. Kekesatan jalan dipengaruhi oleh unsur-unsur yang sama yang menentukan stabilitas tinggi, seperti gradasi agregat, ketebalan lapisan aspal, area kontak antara partikel butir, bentuk butiran, dan kekasaran permukaan agregat. Ukuran terbesar dari partikel butir mempengaruhi kekesatan permukaan juga. Akibatnya, agregat juga harus tahan lama selain memiliki permukaan kasar untuk mencegah tergelincir dari gesekan kendaraan berulang.

f) Kedap Air

*Impermeabilitas* beton aspal, atau ketahanan terhadap air, adalah ketahanan beton aspal untuk mencegah udara dan air masuk ke strukturnya. Intrusi udara dan air dapat menyebabkan aspal lebih cepat menua dan menyebabkan lapisan aspal terpisah dari agregat. Banyaknya ruang yang tersisa setelah pemadatan campuran beton aspal dapat memberikan informasi tentang seberapa tahan campuran tersebut terhadap rembesan air. Jumlah daya tahan beton aspal berkaitan langsung bersama dengan impermeabilitasnya.

g) Dapat Dilaksanakan (*Workability*)

Kemampuan campuran beton aspal untuk disebar dan dipadatkan dengan mudah dikenal sebagai *workability*. Secara keseluruhan, tingkat kemudahan memengaruhi efektifitas pekerjaan. Viskositas aspal, kerentanan aspal terhadap perubahan suhu, serta gradasi dan kondisi agregat merupakan faktor yang mempengaruhi seberapa mudah proses penyebaran dan pemadatan. Jika terjadi kesulitan selama proses pelaksanaan, perancangan campuran dapat direvisi atau dikoreksi.

## 6. Pengujian Aspal

Dalam pelaksanaan pembuatan campuran beraspal, diperlukan aspal dengan spesifikasi atau standar tertentu untuk mendapatkan kualitas perkerasan jalan yang diinginkan. Berikut adalah jenis-jenis pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui kualitas aspal :

a) Pengujian Penetrasi

Pada uji penetrasi ini, jarum dengan ukuran, beban, dan waktu tertentu dimasukkan ke dalam aspal. Nilai penetrasi yang tinggi menunjukkan aspal yang lebih lunak. (UMY 2021)

b) Pengujian Titik Lembek

Suhu di mana bola baja dengan berat tertentu menekan lapisan aspal yang tertahan dalam cincin dengan ukuran tertentu, sehingga aspal menyentuh dasar pelat di bawah ring pada jarak 25,4 mm, dikenal sebagai "titik lembek aspal" yang biasa digunakan pada

perkerasan jalan. Tujuan dari pemeriksaan titik lembek ini adalah untuk mengidentifikasi titik lembek aspal dalam rentang suhu dari 30 °C hingga 157 °C. (UMY 2021)

c) Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

Untuk memastikan keselamatan di tempat kerja, pengujian aspal pada titik nyala dan titik bakar dapat membantu untuk menentukan suhu saat aspal mulai menyala dan terbakar. Titik nyala ditunjukkan ketika aspal tampak menyala sebentar, dan titik bakar ditunjukkan ketika aspal mulai terbakar setidaknya selama 5 detik. (Sukirman, 2003:42 dalam (Nur Indriatno Putra Pratama and Muhammad Yusuf 2019)

d) Pengujian Berat Jenis Aspal

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis dan berat jenis aspal keras dengan menggunakan piknometer guna memenuhi kebutuhan aspal untuk konversi berat ke volume atau sebaliknya pada saat pelaksanaan. (UMY 2021)

**Tabel 2. 1** Ketentuan Aspal Keras

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 <sup>(1)</sup>	
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ( $G^*/\sin\delta$ ) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) <sup>(3)</sup>	ASTM D2170-10	$\geq 300$	$\leq 3000$	
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	$\geq 48$	Dilaporkan <sup>(2)</sup>	
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	$\geq 100$	-	



6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	$\geq 232$	$\geq 230$
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	$\geq 99$	$\geq 99$
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-
9.	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$
10.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639- 2002	$\leq 2$	

(Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 revisi 2)

## 7. Agregat

Agregat, sebagaimana didefinisikan oleh (Fithra 2018), adalah partikel pecahan, pasir, kerikil, atau mineral yang dapat berasal dari batuan berbentuk mineral padat dalam ukuran besar dan kecil, atau dapat juga berasal dari alam. Kualitas perkerasan jalan juga ditentukan oleh karakteristik agregat dan campuran yang dibuat dengan bahan lain. Agregat membentuk 90-95% dari berat atau 75-85% dari volume struktur perkerasan jalan.

## 8. Klasifikasi Agregat

Menurut (Tenrianjeng 2012), agregat atau batuan dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran partikelnya, meliputi :

- a) Agregat kasar, yang merupakan agregat yang memiliki ukuran  $> 2$  mm (AASHTO) dan  $>$  dari 4,75 mm (ASTM).
- b) Agregat halus, memiliki ukuran  $< 4,75$  mm ( ASTM) dan  $< 2$  mm (AASHTO) tetapi berukuran  $> 0,075$  mm.

- c) Abu Batu, yaitu agregat halus yang biasanya melewati filter No. 200.

## 9. Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui sifat atau karakteristik agregat yang dihasilkan dari pemecah batu. Menurut (Mulyono 2017), Untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat, diperlukan beberapa pengujian, antara lain :

- a) Pengujian Keausan Agregat (Abrasi)

Metode pengujian ini digunakan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles. Peralatan yang digunakan termasuk mesin abrasi Los Angeles, saringan No. 12, timbangan, bola baja, oven, alat penggorengan, dan sikat. Tingkat keausan diukur dengan perbandingan berat bahan yang aus terhadap berat aslinya dalam persen. Pengujiannya dilakukan dengan memasukkan objek uji ke dalam mesin abrasi dan memutarinya selama 500 putaran.

- b) Pengujian Analisa Saringan Agregat (Gradasi)

Pemeriksaan agregat dengan metode analisa saringan agregat ini dimaksudkan untuk mengetahui gradasi agregat halus dan gradasi agregat kasar. Cara ujinya adalah dengan mengayak (menyaring) agregat dengan saringan ukuran tertentu dan dengan menggunakan mesin *Sieve Shaker* selama 10 - 15 menit.

**Tabel 2. 2** 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
1 ½"	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	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

(Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 revisi 2))

c) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pemeriksaan berat jenis dilakukan pada agregat menjadi tiga kondisi kelembaban agregat yang berbeda selama pemeriksaan fisik, yakni : *Bulk* BJ, *SSD* BJ, dan BJ semu. Hasil pengukuran berat jenis ini digunakan dalam perencanaan campuran agregat dan aspal, dan pemeriksaan berat jenis agregat dilakukan dengan cermat tergantung pada perbedaan berat. Adapun macam-macam dari berat jenis agregat antara lain :

**Tabel 2. 3** Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	magnesium sulfat	SNI 2417:2008	Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 Putaran	Maks. 6%
		500 Putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 Putaran	Maks. 8%
		500 Putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
	Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	SNI 8287:2016	Maks. 5%
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

(Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 revisi 2)

## 10. Limbah Batu Bara

Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap, batubara merupakan salah satu sumber energi yang digunakan untuk mendongkrak pembangkitan listrik. Limbah ini tercipta setelah pembakaran batu bara dan merupakan padatan yang sulit larut atau menguap. (Qomaruddin 2020).

Sampah yang dihasilkan PLTU dibagi menjadi dua kategori, yaitu : *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* membentuk sekitar 80% dari total limbah sisanya yaitu sekitar 20% adalah *bottom ash*. (Aida, Lisha, and Puty 2018).

## 11. Fly Ash

*Fly ash* menurut (Yasruddin, Lestari, and Rifqy 2020), adalah zat yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara yang memiliki butiran halus berwarna keabu-abuan.

Abu terbang dipengaruhi oleh berbagai elemen yang berdampak pada sifat fisik, kimia, dan teknisnya. Ini termasuk jenis batubara yang digunakan, kemurniannya, laju penghancuran, proses pemanasan dan operasi, dan teknik yang digunakan untuk penimbunan dan penyimpanan. Demikian hasil temuan dari penelitian tersebut.

## 12. Marshall Test

Instrumen Marshall digunakan untuk memeriksa campuran aspal untuk mengukur ketahanan campuran terhadap deformasi plastis (Setyawan, Legowo, and Shidiq 2017). Parameter uji marshall meliputi :

### a) Stabilitas (*Stability*)

Kemampuan campuran beton aspal untuk mempertahankan beban sampai deformasi plastik terjadi tanpa mengalami perubahan yang cukup besar disebut sebagai stabilitas. Bentuk, kualitas, kekasaran permukaan, kekuatan adhesi, gradasi agregat, dan jumlah aspal dalam campuran adalah semua faktor yang mempengaruhi stabilitas.

Dalam pengujian Marshall, stabilitas campuran ditunjukkan dengan pembaca nilai stabilitas yang dikalikan dengan koreksi *proving ring*. Berikut adalah batasan nilai stabilitas yang harus dimiliki campuran lapis aspal AC-WC :

**Tabel 2. 4** Batasan Nilai Stabilitas Campuran Lapis Aspal AC-WC

Sifat-sifat Campuran Aspal		Laston Lapis Aus AC-WC
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800

(Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 revisi 2))

**b) Kelelehan (*Flow*)**

Kelelehan merupakan laju awal deformasi vertikal spesimen yang disebabkan oleh beban yang menyebabkan penurunan stabilitas. Viskositas dan kuantitas aspal, kelas agregat, jumlah tumbukan, dan suhu pemadatan semuanya mempengaruhi besarnya *flow*. Campuran dengan *flow* tinggi dan stabilitas rendah biasanya fleksibel dan rentan terhadap deformasi oleh tekanan lalu lintas, sedangkan kombinasi dengan *flow* rendah dan stabilitas tinggi biasanya kaku dan rapuh.

**c) *Marshall Quotient* (MQ)**

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio antara stabilitas dan nilai aliran. Nilai MQ yang lebih tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kualitas yang kaku, sedangkan nilai MQ yang lebih rendah menunjukkan bahwa campuran aspal lebih fleksibel atau platis.

**d) *Void in Mineral Aggregate* (VMA)**

Rongga udara antara butiran aspal dalam campuran mineral padat disebut *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan dinyatakan sebagai persentase dari jumlah volume agregat. Faktor-faktor seperti tingkat aspal, gradasi, dan tingkat pemadatan mempengaruhi perbedaan

VMA. Besarnya VMA juga berdampak pada ketahanan campuran terhadap air dan udara, serta elastisitas campuran.

e) ***Void In the Mix (VIM)***

Persentase rongga udara terhadap volume total campuran setelah pemadatan dikenal sebagai *Void In total Mix* (VIM). Jika lebih banyak aspal yang mengisi rongga di antara agregat, maka akan lebih sedikit nilai VIM. Alur dan retakan akan muncul lebih cepat jika semakin tinggi nilai VIM.

f) ***Void Filled with Asphalt (VFA)***

Persentase rongga yang diisi dengan aspal setelah pemadatan dikenal sebagai *Void Filled with Asphalt* (VFA). Gradasi agregat, komposisi aspal, tingkat pemadatan, dan suhu pemadatan semuanya mempengaruhi nilai VFA.

Ketika nilai VFA maka semakin tinggi, maka jumlah aspal yang terisi dalam rongga juga semakin besar. Ini akan membuat campuran lebih kedap udara dan air, tetapi nilai VFA yang tinggi juga dapat menyebabkan *bleeding*. Di sisi lain, jika nilai VFA lebih rendah, impermeabilitas campuran terhadap udara dan air berkurang. Hal ini membuat aspal lebih rentan terhadap oksidasi, yang dapat mengurangi masa pakai campuran.

g) ***Kepadatan (Density)***

Kepadatan adalah ukuran seberapa rapat campuran setelah proses pemadatan. Kepadatan campuran meningkat seiring dengan

meningkatkan nilai densitas. Banyak variabel, termasuk jenis dan mutu bahan baku, gradasi kombinasi, tingkat pemadatan, suhu di mana pemadatan terjadi, jumlah aspal dalam campuran, dan penambahan aditif, semuanya mempengaruhi nilai kepadatan. Dibandingkan dengan kombinasi dengan kepadatan rendah, campuran yang memiliki kepadatan tinggi dapat menanggung bobot yang lebih tinggi.

Impermeabilitas campuran juga dipengaruhi oleh nilai kepadatannya. Semakin tinggi kepadatannya, semakin rapat campurannya, membuatnya kedap udara dan air.

**Tabel 2. 5** Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rasio pertikel lolos ayakan 0,075 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 Marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

(Sumber : (Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 revisi 2))



## B. Tinjauan Pustaka

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian saat ini :

1. (Haris Santoso, Basir, and Hendra Hermawan 2021), dengan judul *“Pemanfaatan Limbah Bottom Ash Sebagai Bahan Campuran Agregat Halus Dengan Penambahan Tetes Tebu Pada Pembuatan Beton Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton”*. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui dampak peningkatan nilai kuat tekan beton berbahan dasar limbah abu dasar, campuran agregat halus dan molase, pada beton biasa. Menurut hasil pengujian, untuk membangun proporsi campuran, varian bottom ash yang paling efektif adalah 5%, dengan nilai kuat tekan 24,93 MPa. Oleh karena itu, limbah abu dasar merupakan campuran agregat halus karena nilai kuat tekan sebesar 24,93 Mpa telah mencapai target 24 MPa atau 24 MPa menurut SNI 2834-2000.
2. (Weimintoro et al. 2021), dengan judul *“Pengaruh Lama Perendaman Benda Uji AC-WC Terhadap Nilai Stabilitas dan Nilai Kelelahan (Flow) dengan Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018”*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memastikan apakah waktu perendaman memiliki efek menguntungkan atau merugikan pada perkerasan jalan sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 dan dengan memanfaatkan alat Marshall *Compression Machine* untuk menentukan nilai stabilitas dan nilai leleh (*flow*). Dampak kestabilan dan aliran pada perkerasan jalan dapat diibaratkan seperti yang terjadi pada musim hujan ketika perkerasan jalan

terendam air. Berdasarkan rumusan masalah, uji Marshall diperoleh bahwa nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*flow*) akan menurun seiring bertambahnya waktu perendaman dan sebaliknya.

3. (H et al. 2021), dengan judul “*Pengaruh Limbah Sampah Type HDPE (High Density Polythylene) pada Lapisan Aspal AC-WC*”. Penelitian ini dimaksudkan untuk meningkatkan infrastruktur pendukung transportasi yang dapat menangani volume lalu lintas yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya mobilisasi penduduk. Penelitian tersebut menunjukkan hasil sebagai berikut :

- a) Penambahan plastik 5% menghasilkan nilai stabilitas 2843,5 kg, merupakan nilai stabilitas yang paling bagus.
- b) Setelah ditambahkan plastik 5%, density campuran aspal turun sebesar 2,098 gr/ml. Setelah ditambahkan 7,5% plastik, density turun sebesar 0,08 gr/ml, dan setelah ditambahkan 10% plastik, density turun lagi sebesar 0,012 gr/ml.
- c) Nilai VIM campuran aspal dengan plastik 5% sebesar 12,328%, naik pada plastik 7,5% sebesar 15,677%, dan naik lagi pada plastik 10% sebesar 16,160%.
- d) VMA campuran aspal sebesar 23,369% pada penambahan plastik 5%, naik menjadi 31,104% dengan penambahan plastik 7,5%, dan turun lagi menjadi 26,719% dengan penambahan plastik 10%.
- e) Setelah menambahkan 5% plastik ke dalam campuran aspal, nilai VFBnya adalah 47,394%. Kemudian meningkat menjadi 49,715%

setelah menambahkan 7,5% plastik, dan kembali turun lagi menjadi 39,623%.

- f) Nilai kelelehan (*flow*) campuran aspal pada plastik 5% adalah 4,91 mm, berkurang dengan plastik 7,5% dengan 4,26 mm, dan terus menurun dengan plastik 10% menjadi 1,63 mm.
- g) Nilai MQ untuk campuran aspal meningkat pada penambahan 5% plastik dengan hasil 655,39 kg/mm, 7,5% plastik dengan hasil 704,38 kg/mm, dan 10% plastik dengan hasil 1714,02 kg/mm.

4. (Tahir 2021), dengan judul “*Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Abu Terbang Batu Bara*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai Marshall dalam campuran beton aspal yang mengandung filler *fly ash* batubara dengan persentase 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% dari campuran secara keseluruhan. Menurut hasil pemeriksaan dan analisis karakteristik campuran aspal beton dengan menggunakan kadar pengisi *fly ash* batubara yang berbeda-beda, terlihat bahwa kinerja campuran aspal beton mengalami peningkatan yang ditunjukkan oleh sifat-sifat berikut ini.:

- a) Stabilitas

Dengan menggunakan filler *fly ash* batubara, konsistensi campuran meningkat hingga batas tertinggi dan kemudian menurun. Dengan kadar aspal 6%, konsistensi terbaik adalah 6% hingga 7%.

b) Fleksibilitas

*Marshall Quotient* (MQ) digunakan untuk menunjukkan nilai fleksibilitas dari campuran, yang menunjukkan bahwa peningkatannya cenderung meningkat seiring dengan tingkat pengisi *fly ash* batubara dalam campuran aspal beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih fleksibel, jika nilai MQ yang cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya variasi filler *fly ash* batubara dalam campuran.

c) Durabilitas

Nilai kestabilan sisa suatu campuran menunjukkan keawetannya. Dengan bertambahnya kadar filler *fly ash* batubara sebesar 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% maka nilai ketahanannya meningkat menjadi 91,433%, 93,042%, 95,216%, 95,400%, dan 95,703%. Dengan kisaran kadar bahan pengisi 4% hingga 8% maka nilai keawetannya meningkat, menunjukkan ketahanan campuran terhadap cuaca dan beban lalu lintas atau nilai keawetan yang relatif baik.

5. (Wahyu Indrasto, Suprimurtiono, and Nurhidayati 2021), dengan judul “*Modifikasi Campuran Aspal Dengan Bahan Tambah Limbah Gelas Plastik (Polyethylene Terephthalate / Pet) Ditinjau Pada Aspek Stabilitas Dan Kelelahan Plastis*”. Penelitian ini dimaksudkan untuk memahami bagaimana menambahkan limbah gelas plastik ke dalam campuran aspal mempengaruhi stabilitas dan kelelahan aspal. Berdasarkan hasil penelitian, kita dapat menyimpulkan sebagai berikut :

- a) Banyaknya limbah gelas plastik yang ditambahkan memiliki pengaruh terhadap kestabilannya. Jika ditambahkan dengan persentase yang tepat maka akan menjadi lebih stabil, namun jika ditambahkan terlalu banyak maka akan menjadi kurang stabil. Persentase penambahan aspal yang ideal menurut persamaan  $Y = -29,381 x^2 + 242,901 x + 781,305$  adalah 3%, dengan nilai kestabilan sebesar 1270,8 kg..
- b) Jumlah limbah gelas plastik yang ditambahkan ke dalam campuran aspal memiliki dampak pada kelelehan aspal. Semakin banyak limbah gelas plastik yang ditambahkan, semakin tinggi kelelehan aspal. Tetapi kelelehan yang lebih tinggi tidak selalu berarti aspal lebih baik karena spesifikasi aspal hanya memiliki nilai kelelehan 4 mm.
6. (Al Qurny, Hagni Puspito, and Tinumbia 2022), dengan judul “*Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Asphalt Concrete Wearing Course/AC-WC)*”. Untuk menentukan nilai karakteristik Marshall pada campuran aspal beton dengan bahan pengisi *fly ash* batu bara, maka berikut ini akan dilakukan eksperimen. Hasilnya akan menunjukkan variasi kadar filler sebesar 1%, 1,5%, dan 2% terhadap total campuran ketika menggunakan filler *fly ash*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, berdasarkan karakteristik marshall, campuran aspal yang ditambahkan abu batubara mempunyai nilai karakteristik marshall lebih tinggi dibandingkan campuran aspal yang tidak ditambahkan abu batubara. Artinya abu batubara dapat digunakan

sebagai filler lapisan aus campuran Laston. Persentase abu batubara yang baik digunakan adalah 2%.

7. (Shafira Salsabilla, Firmansyah, and Sugiono 2022), dengan judul “*Dampak Penambahan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Beberapa Agregat Halus Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Dengan Metode Marshall Test*”. Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan nilai uji Marshall dan nilai stabilitas dalam campuran aspal panas dengan mengganti serbuk besi limbah untuk sejumlah agregat halus. Maka didapatkan hasil penelitian sebagai berikut :
  - a) Nilai karakteristik Marshall, dapat dipengaruhi oleh nilai uji Marshall pada campuran aspal panas menggunakan limbah serbuk besi sebagai pengganti beberapa agregat halus sebesar 5%, 10%, dan 15%.
  - b) Berdasarkan hasil dari Job Mix Design PT. NISAJANA HASNA RIZQY, memiliki nilai stabilitas marshall yang paling efektif pada kadar 10%, dengan peningkatan sebesar 1058,13 kg. Selain itu, nilai stabilitas filler limbah serbuk besi pada kadar 5% naik menjadi 992,64 kg, dan nilai stabilitas filler limbah serbuk besi pada kadar 15% turun menjadi 882,35 kg.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Metode Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen yang didefinisikan oleh para ahli. Menurut Sugiyono (2012), penelitian eksperimen adalah cara untuk menemukan pengaruh dari suatu perlakuan terhadap variable lainnya dalam situasi yang terkendalikan. Dari pemahaman tersebut, dapat disimpulkan bahwa eksperimen adalah suatu percobaan dalam penelitian yang bertujuan untuk memahami perubahan yang terjadi pada variable yang diteliti.

Dalam penelitian ini, penulis akan menganalisis Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (*Fly Ash*) Terhadap Nilai Stabilitas Sebagai Campuran Lapis Aspal AC-WC Dengan Metode Marshall Test. Penelitian ini melibatkan perbandingan variasi penambahan limbah batu bara (*fly ash*) sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat total agregat, dibuat dengan masing-masing 3 benda uji.

## B. Waktu dan Tempat Penelitian

### 1. Waktu Penelitian

Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan penelitian ini yaitu :

**Tabel 3. 1** Waktu Pelaksanaan Penelitian

No	Tahapan Penelitian	2023			2024						
		Okt-	Nov-	Des-	Jan-	Feb-	Mar-	Apr-	Mei-	Jun-	Jul-
1.	Persiapan										
	a. Pencarian Referensi	■									
	b. Penyusunan Proposal	■	■	■							
	c. Persiapan Alat/Bahan			■	■						
2.	Pelaksanaan										
	a. Seminar Proposal				■						
	b. Pembuatan Benda Uji					■					
	c. Pengujian Benda Uji						■	■	■	■	
3.	Penyelesaian										
	a. Pembahasan									■	■
	b. Ujian Skripsi										■

(sumber : Data Penelitian Pribadi)

### 2. Tempat Penelitian

Adapun lokasi penelitian ini dilakukan di 3 tempat, yaitu :

- a) Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Pancasakti Tegal, Jl. Halmahera No.KM. 01, Mintaragen, Kec. Tegal Tim., Kota Tegal, Jawa Tengah 52121.
- b) Laboratorium PT. Bangun Anugrah Beton Nusantara yang terletak di Timbangrejo, Timbangreja, Kec. Lebaksiu, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah.
- c) Laboratorium PT. Kamajati (Karya Manunggal Jaya Lestari) yang terletak di Pagerwangi, Kecamatan Balapulang, Kabupaten Tegal.



### C. Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2009), variabel merujuk pada segala sesuatu yang ditentukan oleh peneliti untuk dipelajari guna memperoleh informasi yang kemudian dapat digunakan untuk menarik kesimpulan. Variabel-variabel dalam penelitian eksperimen ini, adalah sebagai berikut :

#### 1. Variabel Bebas

Dalam penelitian ini, limbah batu bara (*fly ash*) digunakan sebagai variabel bebas, dan agregat atau bahan yang akan digunakan dalam campuran beton aspal diuji sifat fisiknya untuk memastikan bahwa agregat atau bahan tersebut sesuai untuk digunakan dalam campuran beton aspal. Agregat akan dibentuk dalam komposisi tertentu sebelum dimasukkan ke dalam campuran aspal.

#### 2. Variabel Terikat

Dalam studi mengenai Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (*fly Ash*) Terhadap Nilai Stabilitas Sebagai Campuran Lapis Aspal AC-WC Dengan Metode Marshall Test, variabel yang diuji mencakup pengujian Marshall, kelelahan (*flow*), dan *Marshall Quotient*. Aspal yang diselidiki adalah Laston AC-WC dengan jenis pen 60/70.

### D. Instrumen Penelitian

Dalam rangka melakukan penelitian sistematis, persiapan yang paling penting adalah menyediakan alat dan bahan yang jelas guna mencapai tujuan penelitian. Berikut adalah alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian.

## 1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a) Timbangan, sebagai pengukur massa bahan sesuai dengan *job mix*.



**Gambar 3. 1** Timbangan Digital

(Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal*)

- b) Bak perendaman, alat untuk perendaman benda uji dengan temperature dan dalam waktu tertentu.



**Gambar 3. 2** Bak Perendaman

(Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal*)

- c) Termogun, digunakan untuk mengukur suhu campuran aspal.



**Gambar 3. 3** Termogun

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- d) Satu set alat memasak, digunakan untuk mengeringkan agregat setelah dicuci serta untuk memanaskan cairan aspal.



**Gambar 3. 4** Satu Set Alat Memasak

(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)

- e) *Automatic asphalt compactor*, digunakan untuk memadatkan benda uji setelah proses pemanasan dan pencampuran agregat, untuk mencapai tingkat kepadatan yang diinginkan.



**Gambar 3. 5** *Automatic Asphalt Compactor*

*(Sumber : Laboratorium PT. BABN)*

- f) Cetakan benda uji (*Mold*), berdiameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm, digunakan untuk cetakan briket/benda uji yang telah dibuat.



**Gambar 3. 6** *Cetakan Benda Uji AC-WC*

*(Sumber : Laboratorium PT. BABN)*

- g) Mesin Sieve Shaker, digunakan untuk memisahkan padatan menggunakan peralatan penyaringan berlapis dan memiliki berbagai nilai mesh saringan.



**Gambar 3. 7** Mesin Sieve Shaker

*(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)*

- h) Wadah, juga dikenal sebagai penampungan, digunakan untuk meletakkan bahan atau benda uji.



**Gambar 3. 8** Penampungan (Cawan)

*(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)*

- i) Sekop kecil dan sendok spesi, digunakan untuk mengambil bahan agregat yang digunakan dalam pengujian.



**Gambar 3. 9** Sekop Kecil dan Sendok Spesi

*(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)*

- j) *Extruder*, alat yang digunakan untuk mengeluarkan beriket aspal yang telah dicetak.



**Gambar 3. 10** *Extruder*

(Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal*)

- k) Mesin *Los Angeles*, digunakan untuk mengetahui nilai tingkat ketahanan aus kerikil dan batu pecah.



**Gambar 3. 11** Mesin Los Angeles

(Sumber : *Laboratorium PT. BABN*)

- l) Ember/bak air, digunakan pada saat perendaman agregat sebelum pengujian berat jenis serta untuk perendaman benda uji untuk pengujian berat jenis.



**Gambar 3. 12** Ember

(Sumber : Laboratorium PT. BABN)

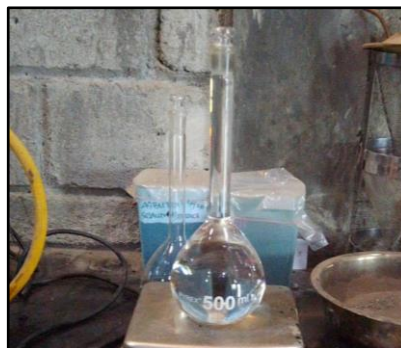
- m) Kanebo, digunakan untuk mengeringkan permukaan agregat kasar serta benda uji pada saat pengujian berat jenis.



**Gambar 3. 13** Kanebo

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- n) Piknometer, digunakan untuk pengujian berat jenis agregat halus.



**Gambar 3. 14** Piknometer

(Sumber : Laboratorium PT. BABN)



- o) Alat *slump* agregat halus, digunakan untuk mengetahui agregat halus dalam keadaan SSD.



**Gambar 3. 15** Alat *Slump* Agregat Halus

(Sumber : Laboratorium PT. BABN)

- p) Alat uji Marshall, digunakan untuk menentukan nilai stabilitas, dan kelelahan/*flow*.



**Gambar 3. 16** Alat Uji Marshall

(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)

- q) Jangka sorong, digunakan untuk mengukur tinggi atau ketebalan benda uji.





**Gambar 3. 17** Jangka Sorong

*(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)*

- r) Ketel/teko, yang digunakan untuk membakar aspal yang akan dibuat menjadi cair.



**Gambar 3. 18** Ketel/Teko

*(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)*

- s) Saringan agregat, digunakan untuk menyaring agregat dari ukuran yang terbesar hingga agregat yang paling halus.



**Gambar 3. 19** Saringan Agregat

*(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)*

- t) Piknometer kecil, digunakan untuk pengujian berat jenis aspal.



**Gambar 3. 20** Piknometer Kecil

(Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal*)

- u) Termometer batang, digunakan untuk mengukur suhu pada saat pengujian titik lembek aspal.



**Gambar 3. 21** Termometer Batang

(Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal*)

- v) Seperangkat alat pengujian GMM, digunakan untuk pengujian GMM campuran aspal.



**Gambar 3. 22** Alat Pengujian GMM

(Sumber : *Laboratorium PT. Kamajati*)

- w) Seperangkat alat penetrasi, digunakan untuk pengujian penetrasi aspal.



**Gambar 3. 23** Alat Penetrasi Aspal

(Sumber : *Laboratorium PT. Kamajati*)

- x) Seperangkat alat uji titik lembek, digunakan untuk pengujian titik lembek aspal.



**Gambar 3. 24** Alat Titik Lembek Aspal

(Sumber : *Laboratorium PT. Kamajati*)

- y) Plat pengujian titik nyala dan bakar aspal, digunakan untuk pengujian titik nyala dan titik bakar aspal.



**Gambar 3. 25** Plat Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal  
(Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal*)

## 2. Bahan

Pada penelitian ini, menggunakan bahan-bahan berikut :

### a) Agregat Halus

Bahan agregat halus dari setiap sumber harus terdiri atas pasir alam atau hasil pemecahan batu dengan ukuran nominal maksimum 2,36 mm.



**Gambar 3. 26** Agregat Halus  
(Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal*)

### b) Agregat Kasar

Agregat kasar untuk perencanaan ini adalah fraksi agregat yang tertahan di atas saringan, seperti saringan No. 8 atau saringan 2,36

mm. Agregat kasar yang akan diuji harus terdiri dari pecahan batu atau kerikil dan harus disiapkan dalam ukuran yang spesifik.



**Gambar 3. 27** Agregat Kasar

(Sumber : *Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal*)

c) Aspal

Sebuah material yang terbuat dari campuran batuan (agregat halus dan agregat kasar) yang digabungkan dengan aspal yang memenuhi standar tertentu. Kedua bahan harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum dicampurkan secara merata. Proses pencampuran yang dilakukan dalam keadaan panas ini disebut sebagai *hot mix*.



**Gambar 3. 28** Aspal

(Sumber : *Laboratorium PT. BABN*)

d) Limbah Batu Bara (*Fly Ash*)

*Fly ash*, yang merupakan sisa hasil pembakaran batu bara, dapat digunakan sebagai bahan tambahan untuk perkerasan jalan. Limbah



tersebut berasal dari sisa-sisa pembakaran batu bara didapat sekitar 80% dari total limbah produksi.



**Gambar 3. 29** Fly Ash

*(Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UPS Tegal)*

### 3. Tahap Pengujian

- a) **Tahap I**: Persiapan alat dan bahan



**Gambar 3. 30** Penyediaan Agregat

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*



**Gambar 3. 31** Penyediaan Aspal

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

- b) **Tahap II**: Pengujian fisik bahan, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji dilakukan pada tahap ini, yang diikuti oleh langkah-langkah berikut:

1) **Pengujian Keausan Agregat (SNI 2417:2008)**

- (a) Cuci agregat sampai bersih dan bebas dari lumpur dan debu, kemudian keringkan agregat yang telah dicuci.



**Gambar 3. 32** Mencuci Agregat  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 33** Mengeringkan Agregat setelah Dicuci  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (b) Ambil agregat tertahan saringan  $\frac{1}{2}$ " dan tertahan saringan  $\frac{3}{8}$ " masing-masing sebanyak  $2500 \pm 10$  (sebanyak 2 sample).



**Gambar 3. 34** Sample I Agregat Tertahan Saringan  $\frac{1}{2}$ " dan  $\frac{3}{8}$ "  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 35** Sample II Agregat Tertahan Saringan  $\frac{1}{2}$ " dan  $\frac{3}{8}$ "  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (c) Masukkan agregat dan bola baja (sebanyak 11 buah) ke dalam mesin abrasi *Los Angeles*.



**Gambar 3. 36** Memasukkan Agregat & Bola Baja ke Mesin  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



- (d) Putar mesin dengan kecepatan 30 rpm sampai dengan 33 rpm, sebanyak 500 putaran.
- (e) Setelah selesai pemutaran, keluarkan agregat dari mesin *Los Angeles* dan saring agregat dengan saringan No. 12 (1,70 mm). Agregat yang tertahan di saringan No. 12 dicuci kemudian dikeringkan. Setelah itu timbang agregat.



**Gambar 3. 37** Hasil Pengujian Abrasi Sample I

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 38** Hasil Pengujian Abrasi Sample II

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

## 2) Pengujian Analisa Saringan Agregat (SNI ASTM C136:2012)

- (a) Mengambil sampel agregat abu batu sebanyak 1 kg, lalu menimbang agregat 0-5 sebanyak 1 kg, dan menimbang 1-2 sebanyak 1 kg (masing-masing fraksi sebanyak 3 sampel).



**Gambar 3. 39** Abu Batu (Sample I, II, dan III)  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 40** Agregat 0-5 (Sample I, II, dan III)  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 41** Agregat 1-2 (Sample I, II, dan III)  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (b) Setelah itu, agregat yang telah ditimbang, disaring satu persatu menggunakan alat *sieve shaker* selama 15 menit.



**Gambar 3. 42** Proses Penyaringan dengan Sieve Shaker

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (c) Dilakukan penimbangan kembali pada agregat yang tertahan pada setiap saringan sampai dengan pan.



**Gambar 3. 43** Penimbangan Agregat di Setiap Saringan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (d) Selanjutnya, dilakukan olah data untuk mengetahui apakah agregat telah memenuhi spesifikasi. Jika tidak, maka dilakukan analisis saringan kembali.

### 3) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 1970:2016)

- (a) Mengambil sampel agregat kasar (0-5 dan 1-2), rendam agregat selama  $\pm 24$  jam pada suhu ruang.



**Gambar 3. 44** Perendaman Agregat Kasar

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

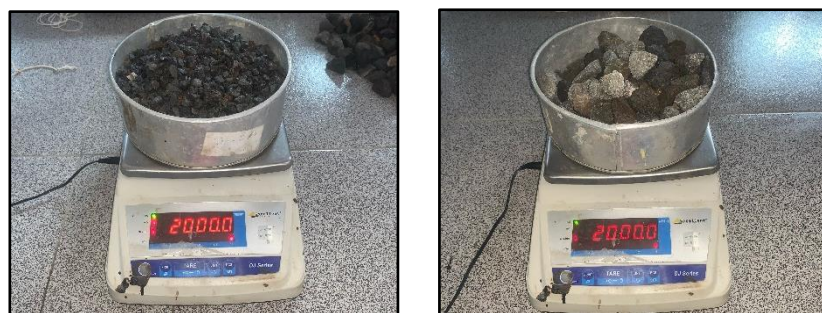
- (b) Setelah direndam selama 24 jam, guling-gulingkan agregat pada kanebo (kain penyerap air) sampai lapisan air yang terlihat hilang (kondisi jenuh).



**Gambar 3. 45** Mengeringkan Agregat dengan Kanebo

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (c) Timbang masing-masing agregat kasar sebesar 2000 gr.



**Gambar 3. 46** Menimbang Agregat Keadaan Jenuh (2000 gr)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



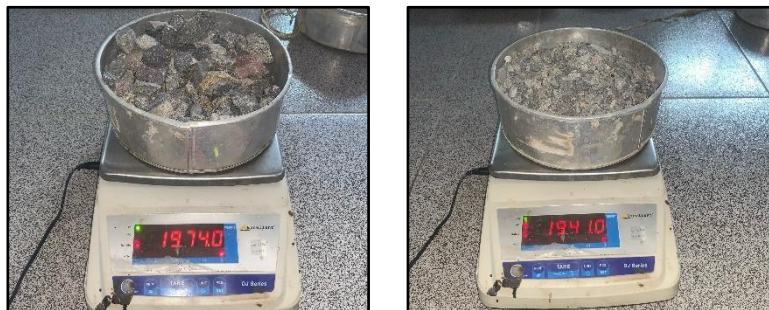
- (d) Setelah ditimbang dalam kondisi jenuh kering, selanjutnya adalah timbang agregat tersebut di dalam air (untuk mencari berat benda uji di dalam air)



**Gambar 3. 47** Menimbang Agregat di Dalam Air

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (e) Keringkan agregat yang telah ditimbang di dalam air, kemudian timbang agregat dalam keadaan kering (untuk mengetahui berat kering oven).



**Gambar 3. 48** Menimbang Agregat Kering Oven

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

#### **4) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1969:2016)**

- (a) Mengambil sampel abu batu secukupnya, panaskan kemudian tambahkan sedikit air sehingga menjadi keadaan SSD (kondisi jenuh kering). Untuk mengetahui abu batu keadaan jenuh kering, cek dengan menggunakan alat *slump* agregat.



**Gambar 3. 49** Pengecekan Abu Batu dengan Alat *Slump*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (b) Setelah dipastikan abu batu dalam keadaan jenuh kering, langkah selanjutnya adalah menimbang abu batu sebanyak 500 gram (sebanyak 2 sampel, 1 sampel dikeringkan untuk mencari berat kering oven dan 1 sampel lainnya ditimbang dengan piknometer + air).



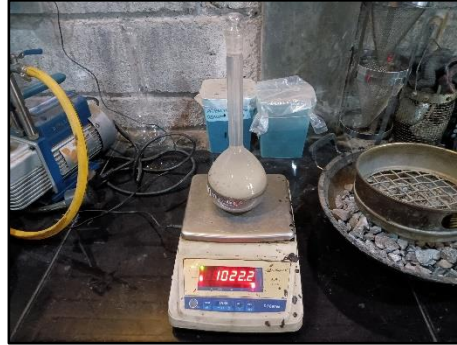
**Gambar 3. 50** Menimbang Agregat 500 gram

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 51** Menimbang Agregat setelah Dikeringkan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 52** Menimbang Agregat + Piknometer + Air

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

### 5) Pembuatan benda uji

<p><b>JOB MIX 100% MATERIAL (FLY ASH 0%)</b></p> <p>Abu Batu = 55 %            Agregat 0-5 = 33 %            Agregat 1-2 = 12 %            Filler = 0 %            JUMLAH = 100 % - 5.5 % = 94.5 %</p> <p><b>JOB MIX FORMULA</b></p> <p>Abu Batu = 52.0 % x 1200 = <b>623.8</b>            Agregat 0-5 = 31.2 % x 1200 = <b>374.3</b>            Agregat 1-2 = 11.3 % x 1200 = <b>136.1</b>            Filler = 0.0 % x 1200 = <b>0.0</b>            Aspal = 5.5 % x 1200 = <b>65.9</b>            JUMLAH = 100 % 1200.0</p>	<p><b>JOB MIX 100% MATERIAL (FLY ASH 5%)</b></p> <p>Abu Batu = 50 %            Agregat 0-5 = 33 %            Agregat 1-2 = 12 %            Filler = 5 %            JUMLAH = 100 % - 5.7 % = 94.3 %</p> <p><b>JOB MIX FORMULA</b></p> <p>Abu Batu = 47.1 % x 1200 = <b>565.8</b>            Agregat 0-5 = 31.1 % x 1200 = <b>373.4</b>            Agregat 1-2 = 11.3 % x 1200 = <b>135.8</b>            Filler = 4.71 % x 1200 = <b>56.6</b>            Aspal = 5.7 % x 1200 = <b>68.5</b>            JUMLAH = 100 % 1200.0</p>
<p><b>JOB MIX 100% MATERIAL (FLY ASH 10%)</b></p> <p>Abu Batu = 45 %            Agregat 0-5 = 33 %            Agregat 1-2 = 12 %            Filler = 10 %            JUMLAH = 100 % - 5.9 % = 94.1 %</p> <p><b>JOB MIX FORMULA</b></p> <p>Abu Batu = 42.3 % x 1200 = <b>508.0</b>            Agregat 0-5 = 31 % x 1200 = <b>372.6</b>            Agregat 1-2 = 11.3 % x 1200 = <b>135.5</b>            Filler = 9.41 % x 1200 = <b>112.9</b>            Aspal = 5.9 % x 1200 = <b>71.1</b>            JUMLAH = 100 % 1200.0</p>	<p><b>JOB MIX 100% MATERIAL (FLY ASH 15%)</b></p> <p>Abu Batu = 40 %            Agregat 0-5 = 33 %            Agregat 1-2 = 12 %            Filler = 15 %            JUMLAH = 100 % - 6.1 % = 93.9 %</p> <p><b>JOB MIX FORMULA</b></p> <p>Abu Batu = 37.5 % x 1200 = <b>450.5</b>            Agregat 0-5 = 31 % x 1200 = <b>371.7</b>            Agregat 1-2 = 11.3 % x 1200 = <b>135.2</b>            Filler = 14.1 % x 1200 = <b>169.0</b>            Aspal = 6.1 % x 1200 = <b>73.6</b>            JUMLAH = 100 % 1200.0</p>

**Gambar 3. 53** Job Mix Formula

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (a) Menimbang agregat sesuai dengan *job mix* yang sudah dihitung.



**Gambar 3. 54** Menimbang Agregat sesuai *Job Mix*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (b) Panaskan agregat yang telah ditimbang sebelumnya dan aspal di tempat yang berbeda dengan suhu masing-masing  $150^{\circ}\text{C}$ .



**Gambar 3. 55** Memanaskan Agregat serta Aspal

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (c) Menimbang aspal sesuai dengan *job mix*, kemudian dicampurkan ke dalam agregat yang telah dipanaskan.



**Gambar 3. 56** Menimbang Aspal pada Variasi Limbah 0%

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)





**Gambar 3. 57** Menimbang Aspal pada Variasi Limbah 5%  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 58** Menimbang Aspal pada Variasi Limbah 10%  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



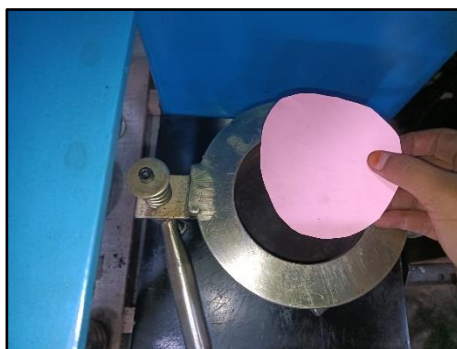
**Gambar 3. 59** Menimbang Aspal pada Variasi Limbah 15%  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (d) Aduk campuran agregat dengan aspal hingga tercampur rata atau homogen.



**Gambar 3. 60** Mengaduk Campuran Agregat dengan Aspal  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

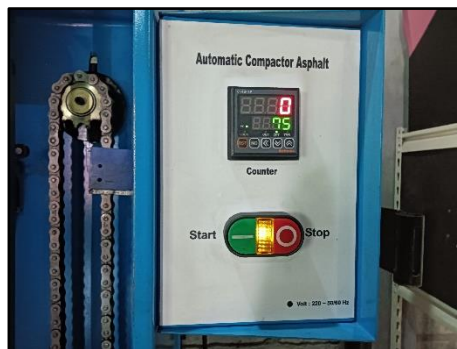
- (e) Setelah campuran homogen, langkah selanjutnya adalah masukkan campuran ke dalam cetakan ( *mold* ) untuk kemudian dipadatkan menggunakan alat  *Automatic Asphalt Compactor* . Sebelum memasukkan campuran, letakkan kertas penghisap di bagian bawah cetakan, kemudian masukkan campuran, tusuk-tusuk campuran menggunakan spatula (pada tepi sebanyak 15 kali dan di tengah sebanyak 10 kali). Tertakhir, meletakkan kertas di atas campuran.



**Gambar 3. 61** Meletakkan Kertas Penghisap  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 62** Masukkan Campuran ke Dalam Cetakan  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 63** Padatkan Campuran Sebanyak 75x2  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (f) Keluarkan benda uji dari alat, kemudian lepaskan kertas penghisap dari sisi atas dan bawah benda uji. Diamkan benda uji pada suhu ruangan selama 24 jam.



**Gambar 3. 64** Melepaskan Kertas Penghisap  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

**6) Pengujian Benda Uji Marshall (SNI 06-2489-1991)**

- (a) Setelah benda uji didiamkan selama 24 jam, keluarkan benda uji menggunakan alat *Extruder*.



**Gambar 3. 65** Mengeluarkan Benda Uji

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

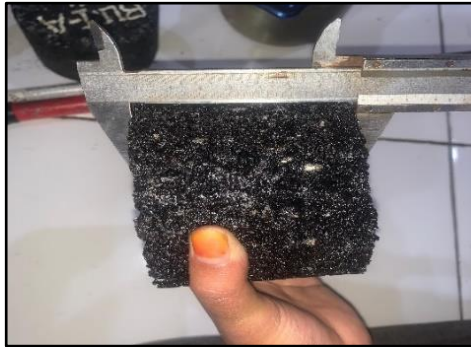
- (b) Menandai setiap benda uji sesuai dengan kadar atau desain campurannya.



**Gambar 3. 66** Memberi Tanda pada Benda Uji

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (c) Mengukur tinggi benda uji dengan menggunakan jangka sorong dan mencatat hasilnya.



**Gambar 3. 67** Mengukur Tinggi Benda Uji

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (d) Sebelum dilakukan pengujian *Marshall*, timbang benda uji dalam keadaan kering.



**Gambar 3. 68** Menimbang Benda Uji dalam Keadaan Kering

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (e) Agar volume benda uji dapat dihitung, benda uji akan ditimbang di dalam air.



**Gambar 3. 69** Menimbang Benda Uji di dalam Air

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



- (f) Rendam benda uji di dalam air selama 10 menit, untuk mengetahui berat benda uji pada kondisi jenuh (SSD).



**Gambar 3. 70** Merendam Benda Uji selama 10 Menit

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (g) Keringkan permukaan benda uji menggunakan kanebo, kemudian timbang benda uji untuk mengetahui berat pada kondisi jenuh (SSD)



**Gambar 3. 71** Menimbang Benda Uji pada Kondisi SSD

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (h) Sebelum melakukan pengujian *Masrhall*, rendam benda uji di dalam *waterbath* selama 30 - 40 menit pada suhu konsisten 60°C.



**Gambar 3. 72** Merendam Benda Uji selama 10 Menit

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (i) Benda uji kemudian diangkat dari *water bath* dan pasang pada alat penguji.



**Gambar 3. 73** Mengangkat Benda Uji dari *Water Bath*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 74** Meletakkan Benda Uji pada Alat Penguji

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (j) Menempatkan alat penekan dan benda uji di atas alat uji *marshall*, dan meluruskan dengan *proving ring*.



**Gambar 3. 75** Menempatkan Alat Penekan pada Alat Penguji  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (k) Memasang arloji pengukur *flow* pada tempatnya dan mengatur jarum pengukur ke posisi nol.



**Gambar 3. 76** Memasang Arloji *Flow* pada Tempatnya  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (l) Melakukan pemeriksaan nilai stabilitas dari benda uji hingga kondisi beban maksimum. Dan periksa nilai kelelahan plastis *flow* ketika benda uji mencapai tingkat stabilitas maksimum dengan teliti.





**Gambar 3. 77** Periksa Nilai Stabilitas dan Nilai *Flow*  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

### 7) Pengujian GMM (SNI 03-6893-2002)

Untuk menentukan berat jenis maksimum campuran aspal panas pada masing-masing kadar aspal, diperlukan pengujian GMM, dengan cara :

- (a) Memasak campuran aspal panas dengan masing-masing kadar aspal dan variasi penambahan filler, kemudian hamparkan pada koran (jangan dipadatkan menggunakan mesin). Diamkan hingga dingin.



**Gambar 3. 78** Memasak Campuran Aspal Panas  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (b) Menimbang berat tempat (**B**) dan menimbang berat tempat + sampel (**A**), catat hasilnya pada formulir.



**Gambar 3. 79** Menimbang Berat Tempat (B)

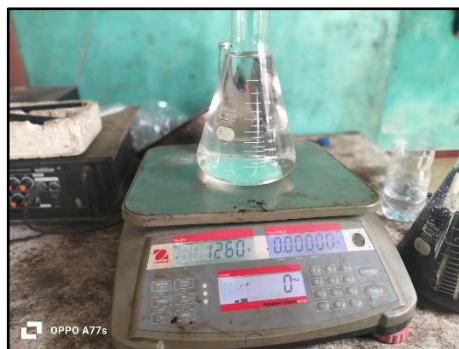
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 80** Menimbang Berat Tempat + Sampel (A)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (c) Memasukkan air ke dalam tempat (labu) sampai penuh, tutup labu, kemudian timbang tempat (labu) + air (D).



**Gambar 3. 81** Menimbang Berat Tempat + Air (D)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (d) Mengeluarkan 1/3 air dari labu, kemudian memasukkan campuran aspal kering ke dalam labu.



**Gambar 3. 82** Memasukkan Campuran Aspal pada Tempat  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (e) Mulai mengeluarkan udara yang terperangkap dengan cara dihisap menggunakan mesin vakum selama 5 menit (sebanyak 3 kali).



**Gambar 3. 83** Mengeluarkan Udara dengan Mesin Vakum  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (f) Setelah divakum selama 5 menit, goyang labu selama  $\pm 2$  menit, kemudian dilanjut divakum kembali menggunakan alat.



**Gambar 3. 84** Goyang Labu Selama 2 menit

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (e) Mengisi labu dengan air sampai penuh, kemudian timbang labu beserta sampel dan air (**E**).



**Gambar 3. 85** Menimbang Berat Tempas + Sampel + Air

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

## 8) Pengujian Penetrasi Aspal (SNI 2456:2011)

- (a) Panaskan aspal (tidak boleh lebih dari 60 menit).



**Gambar 3. 86** Memanaskan Aspal Untuk Uji Penetrasi

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



- (b) Tuangkan aspal cair pada cawan (sebanyak 2 sampel) hingga pada ketinggian 1 cm dari bibir cawan.



**Gambar 3. 87** Menuangkan Aspal pada Cawan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (c) Diamkan cairan aspal pada suhu ruangan selama 1,5 jam, kemudian merendamnya pada suhu 25°C selama 1,5 jam.



**Gambar 3. 88** Mendiamkan Aspal pada Suhu Ruangan

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 89** Merendam Aspal pada Suhu 25°C

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (d) Letakkan benda uji pada gelas yang terisi oleh air, pastikan kerataan posisi alat penetrometer.



**Gambar 3. 90** Pengujian Penetrasi Aspal

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

- (e) Turunkan jarum perlahan hingga menyentuh permukaan aspal, kemudian atur angka 0 pada arloji penetrometer.



**Gambar 3. 91** Mengatur Alat Penetrometer

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*



**Gambar 3. 92** Jarum Menyentuh Permukaan Aspal

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

- (e) Mulai pengujian penetrasi aspal dengan menggunakan alat Penetrometer, sebanyak 2 sampel (4 titik per sampel), kemudian catat hasilnya.



**Gambar 3. 93** Pengujian Penetrasi Aspal

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

#### **9) Pengujian Titik Lembek Aspal (SNI 2434:2011)**

- (a) Panaskan aspal, aduk dengan teratur untuk menghindari pemanasan berlebih pada suatu tempat (tidak boleh lebih dari  $110^{\circ}\text{C}$ ).



**Gambar 3. 94** Memanaskan Aspal Untuk Uji Titik Lembek

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

- (b) Tuangkan aspal yang telah dipanaskan pada cetakan cincin (sebanyak 2 sampel), diamkan benda uji selama 30 menit.



**Gambar 3. 95** Menuangkan Aspal pada Cetakan Cincin

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

- (c) Siapkan air es, kemudian tempatkan cetakan cincin pada plat alat pengujian dan masukkan pada gelas yang berisi air es. Rendam benda uji hingga mencapai suhu  $5^{\circ}\text{C}$ .



**Gambar 3. 96** Merendam Benda Uji pada Air Suhu  $5^{\circ}\text{C}$

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

- (d) Setelah mencapai suhu  $5^{\circ}\text{C}$ , panaskan benda uji pada kompor dan catat waktunya setiap kenaikan  $5^{\circ}\text{C}$ . Catat temperature pada saat bola yang diselimuti aspal jatuh menyentuh dasar pelat.





**Gambar 3. 97** Pengujian Titik Lembek Aspal

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

**10) Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal (ASTM D-92-52)**

- (a) Panaskan aspal, kemudian tuangkan aspal pada cawan penguji. Jangan lupa nyalakan *stopwatch* untuk menghitung waktu mulai aspal dipanaskan hingga selesai.



**Gambar 3. 98** Memanaskan Aspal Untuk Uji Titik Nyala/Bakar

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (b) Setelah aspal mencair, tuangkan aspal dengan hati-hati hingga 3/4 isi cawan, dan pastikan tidak ada gelombang udara.



**Gambar 3. 99** Menuangkan Aspal pada Cawan Pengujian

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

- (c) Letakkan cawan di atas alat pengujian, kemudian pasang thermometer secara tegak lurus dengan aspal. Nyalakan alat dan atur pemanasan sehingga mencapai suhu  $200^{\circ}\text{C}$  di bawah titik nyala yang diperkirakan. Kemudian hitung waktu untuk setiap kenaikan suhu  $5^{\circ}\text{C}$ .



**Gambar 3. 100** Mulai Menyalakan Alat Penguji Titik Nyala

*(Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

- (d) Lanjutkan prosedur di atas hingga terlihat nyala dan titik bakar api singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Bacalah suhu thermometer dan catat hasil ke dalam form tabel praktikum.



**Gambar 3. 101** Titik Nyala Aspal  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 102** Titik Bakar Aspal  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

### 11) Pengujian Berat Jenis Aspal (SNI 2441:2011)

Untuk mempersiapkan instrumen uji, panaskan aspal dengan hati-hati dan aduk. Aspal tidak boleh dipanaskan lebih dari 110°C di atas titik lembek aspal. Tidak boleh dipanaskan selama lebih dari 60 menit di atas nyala api pembakaran atau selama lebih dari 120 menit di oven. Hindari benda uji yang mengandung gelembung udara. Tunggu sampai bahan uji yang telah dipanaskan mencapai suhu ruang.

- (a) Bentuk aspal padat menjadi bulatan kecil, sehingga mempermudah untuk memasukkan ke dalam piknometer.



**Gambar 3. 103** Membentuk Aspal Menjadi Bulatan  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (b) Untuk mengetahui massa air (**B-A**), timbang piknometer kosong (**A**). Masukkan air ke dalam piknometer hingga penuh, kemudian masukkan piknometer yang berisi air ke dalam *waterbath* selama 30 menit dengan suhu 25°C. Keringkan sisi piknometer dan timbang piknometer + air (**B**)



**Gambar 3. 104** Berat Piknometer Kosong (**A**)  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



**Gambar 3. 105** Berat Piknometer + Air (**B**)  
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (c) Untuk mengetahui massa aspal (**C-A**), buang cairan pada piknometer kemudian keringkan. Masukkan bulatan aspal ke dalam piknometer dan timbang piknometer + aspal (**C**)



**Gambar 3. 106** Berat Piknometer + Aspal (**C**)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (d) Mengisi kembali air ke dalam piknometer yang berisi aspal sampai penuh dan timbang piknometer + aspal + air, kemudian catat hasilnya (**D**).



**Gambar 3. 107** Berat Piknometer + Aspal + Air (**D**)

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- c) **Tahap III** : Analisa Data: Pada tahap ini, informasi dari pengujian benda uji dan total dikumpulkan dan dianalisis untuk membuat kesimpulan tentang penelitian.



## E. Metode Pengumpulan Data

### 1. Formulir Pengujian Keausan Agregat menggunakan *LA Machine*

<b>Gradasi Agregat</b>		<b>Jumlah Putaran = 500</b>	
<b>Ukuran Saringan</b>		<b>Jumlah Bola Besi = 11 Buah</b>	
<b>Lolos</b>	<b>Tertahan</b>	<b>Berat I</b>	<b>Berat II</b>
38,1 (1,5")	25,4 (1")		
25,4 (1")	19,1 (3/4")		
19,1 (3/4")	13,2 (1/2")		
13,2 (1/2")	9,6 (3/8")		
9,6 (3/8")	6,35 (No.4)		
6,35 (No.4)	4,75 (No.6)		
4,75 (No.6)	2,38 (No.8)		

Berat sample semula	a		
Berat sample tertahan saringan No. 12	b		
Keausan	$\frac{a - b}{a} \times 100\%$		
Keausan Rata-rata			
<b>Dibulatkan</b>			

2. Formulir Pengujian Gradasi Agregat



**LABORATORIUM TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

Alamat : Jl. Halmahera KM. 01 Mintaragen, Tegal Timur, kota Tegal, Jawa Tengah 52121

**FORMULIR PENGUJIAN**

**ANALISA SARINGAN AGREGAT**

No. Formulir : .../LAB-TS/FT/UPS/.../20.... Sumber Material :  
 Diuji Oleh : Metode Uji/SNI : SNI ASTM C136-2012  
 Material : Diuji Tanggal :

Ukuran Saringan	Sample : I				Sample : II				Sample : III				Rata- rata Lolos (%)
	Berat	Kumulatif			Berat	Kumulatif			Berat	Kumulatif			
	Tertahan Individu	Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Tertahan Individu	Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Tertahan Individu	Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	
(inchi)	(gram)	(gram)	(gram)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(%)	(%)
1 ½"													
1"													
¾"													
½"													
3/8"													
# 4													
# 8													
# 16													
# 30													
# 50													
# 100													
# 200													
	Berat Sample			gram	Berat Sample			gram	Berat Sample			gram	

## 3. Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar



**PT. BANGUN ANUGRAH BETON NUSANTARA**  
INDUSTRI KONSTRUKSI

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR**

Metode Uji/SNI : SNI 1969:2016

Sumber Material :

Diuji Tanggal :

Diuji Oleh :

Jenis Material :	Uraian Pengujian	Satuan	Sample Ke-		Rata-rata
			I	II	
	Berat benda uji kondisi SSD di udara	B	gram		
	Berat benda uji kondisi jenuh di dalam air	C	gram		
	Berat benda uji kering oven	A	gram		
	Massa Jenis Air		gr/cc	1	1
	Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)	$\frac{B}{B-C}$	gr/cc		
	Berat jenis curah kering ( <i>bulk specific gravity</i> )	$\frac{A}{B-C}$	gr/cc		
	Berat jenis semu ( <i>apparent specific gravity</i> )	$\frac{A}{A-C}$	gr/cc		
	Penyerapan Air ( <i>absorption</i> )	$\frac{B-A}{A} \times 100$	%		

Tegal, .....20....

PT. BABN

Vidya Kusuma I, ST.  
Kepala Lab



## 4. Formulir Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus



**PT. BANGUN ANUGRAH BETON NUSANTARA**  
INDUSTRI KONSTRUKSI

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS**

Metode Uji/SNI : SNI 1970:2016

Sumber Material :

Diuji Tanggal :

Diuji Oleh :

Jenis Material :	Uraian Pengujian	Satuan	Sample Ke-		Rata-rata
			I	II	
	Berat benda uji kondisi SSD	S	gram		
	Berat piknometer + benda uji + air	C	gram		
	Berat piknometer + air	B	gram		
	Berat benda uji kering oven	A	gram		
	Massa Jenis Air		gr/cc	1	1
	Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)	$\frac{S}{B + S - C}$	gr/cc		
	Berat jenis curah kering ( <i>bulk specific gravity</i> )	$\frac{A}{B + S - C}$	gr/cc		
	Berat jenis semu ( <i>apparent specific gravity</i> )	$\frac{A}{B + A - C}$	gr/cc		
	Penyerapan Air ( <i>absorption</i> )	$\frac{500-A}{A} \times 100$	%		

Tegal, .....20....

PT. BABN

Vidya Kusuma I, ST.  
Kepala Lab

5. Formulir Pengujian *Marshall*



**PT. BANGUN ANUGRAH BETON NUSANTARA**  
INDUSTRI KONSTRUKSI

**SIFAT-SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL**

Metode Uji/SNI : AASHTO - T.209-90

Sumber Material :

Diuji Tanggal :

Diuji Oleh :

no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat SSD	volume / isi	BJ bulk campuran	BJ maks kombinasi camp. Agg (GMM)	% rongga diantara agg. (VMA)	% rongga dalam camp (VIM)	% rongga terisi aspal (VFA)	kepadatan (density)	Stabilitas		kelelehan plastis (flow)	hasil bagi marshall (MQ)	luas permukaan agregat	penyerapan aspal	kadar aspal efektif	tebal lapis aspal film
												dibaca arloji	disesuaikan						
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
	% berat total camp.	data timbang	data timbang	data timbang	e-d	c/f	GMM tes	100-(100-b) / g/sb	100-(100*g) / h	100 (i-j) / i	c / (e-d)				n / o	lihat komb. agregat	{b+bj aspal (100-b) / gsb} - (bj aspal *100/h)	b- (r/100)* (100-b)	(b-r) *1000 / ((q*bj aspal* (100-b))
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)		(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(m <sup>2</sup> /kg)		(%)	(mm)
<i>Rata-Rata</i>																			
<i>Rata-Rata</i>																			
<i>Rata-Rata</i>																			
<i>Rata-Rata</i>																			

## 6. Formulir Pengujian Berat Jenis Maksimal Campuran Aspal



**PT. BANGUN ANUGRAH BETON NUSANTARA**  
INDUSTRI KONSTRUKSI

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS CAMPURAN MAXIMUM (GMM)**

Metode Uji/SNI : SNI 03-6893-2002

Sumber Material :

Diuji Tanggal :

Diuji Oleh :


No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Variasi Filler			
			0%	5%	10%	15%
1.	Barat Sampel + Tempat A	gr				
2.	Barat Tempat B	gr				
3.	Barat Sampel C = (A-B)	gr				
4.	Barat Botol + Air D	gr				
5.	Barat Botol + Sampel + Air E	gr				
6.	Barat Jenis F = (C/(C+D-E))					
7.	Suhu Air G	°C	25	25	25	25
8.	Koreksi Suhu H	gr/cc	1,000	1,000	1,000	1,000
9.	Barat Suhu Terkoreksi I = (F x H)	gr/cc				
<b>Rata-rata</b>		<b>gr/cc</b>				

Tegal, .....20....


PT. BABN

Vidya Kusuma I, ST.  
Kepala Lab

## 7. Formulir Pengujian Penetrasi Aspal

	<b>LABORATORIUM TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER</b> <b>UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL</b> <small>Alamat : Jl. Halmahera KM. 01 Mintaragen, Tegal Timur, kota Tegal, Jawa Tengah 52121</small>			
<b>FORMULIR PENGUJIAN</b>				
<b>PENGUJIAN PENETRASI ASPAL</b>				
No. Formulir : .... /LAB-TS/FT/UPS/.... /20.... Diuji Oleh : Material :	Sumber Material : Metode Uji/SNI : SNI 2456:2011 Diuji Tanggal :			
Contoh dipanaskan	Mulai Pkl. Selesai Pkl.	Temperatur oven/pemanasan : .....°C		
Didiamkan pada temperature ruang	Mulai Pkl. Selesai Pkl.	Temperatur bak perendaman : .....°C		
Direndam pada temperatur 25°C	Mulai Pkl. Selesai Pkl.	Temperatur alat : .....°C		
Pemeriksaan penetrasi pada 25°C 100 gram, 5 detik	<b>Benda Uji 1</b>		<b>Benda Uji 2</b>	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Pengamatan	1			
	2			
	3			
	4			
Rata-rata				
Penetrasi Rata-rata				

## 8. Formulir Pengujian Titik Lembek Aspal


	<b>LABORATORIUM TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER</b> <b>UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL</b> Alamat : Jl. Halmahera KM. 01 Mintaragen, Tegal Timur, kota Tegal, Jawa Tengah 52121		
<b>FORMULIR PENGUJIAN</b>			
<b>PENGUJIAN TITIK LEMBEK ASPAL</b>			
No. Formulir : .... /LAB-TS/FT/UPS/.... /20.... Diuji Oleh : Material :	Sumber Material : Metode Uji/SNI : SNI 2434:2011 Diuji Tanggal :		
Contoh dipanaskan	Mulai Pkl. Selesai Pkl.	Temperatur oven/pemanasan : .....°C	
Didiamkan pada temperature ruang	Mulai Pkl. Selesai Pkl.	Temperatur lemari es : .....°C	
Direndam pada temperatur 25°C	Mulai Pkl. Selesai Pkl.		

No.	Suhu yang diamati (°C)	Waktu (detik)		Titik Lembek (°C)	
		I	II	I	II
1	5				
2	10				
3	15				
4	20				
5	25				
6	30				
7	35				
8	40				
9	45				
10	50				



## 10. Formulir Pengujian Berat Jenis Aspal

	<b>LABORATORIUM TEKNIK SIPIL</b> <b>FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER</b> <b>UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL</b> Alamat : Jl. Halmahera KM. 01 Mintaragen, Tegal Timur, kota Tegal, Jawa Tengah 52121																																												
<b>FORMULIR PENGUJIAN</b>																																													
<b>PENGUJIAN BERAT JENIS ASPAL</b>																																													
No. Formulir	: .../LAB-TS/FT/UPS/.../20....	Sumber Material	: Pertamina (PT. BABN)																																										
Diuji Oleh	: Indi Ayuningtyas	Metode Uji/SNI	: SNI 2441:2011																																										
Material	: Aspal Pen 60/70	Diuji Tanggal	: 3 Juli 2024																																										
Contoh dipanaskan	Mulai Pkl.	Selesai Pkl.	Temperatur oven/pemanasan : .....°C																																										
Didiamkan pada temperature ruang	Mulai Pkl.	Selesai Pkl.																																											
Direndam pada temperatur 25°C	Mulai Pkl.	Selesai Pkl.	Temperatur bak perendaman : .....°C																																										
Pemeriksaan Berat jenis	Mulai Pkl.	Selesai Pkl.																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%;">Benda Uji 1</th> <th style="width: 20%;">Benda Uji 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Massa piknometer + aspal</td> <td>(C)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Massa piknometer kosong</td> <td>(A)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Massa aspal</td> <td>(C-A)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Massa piknometer + air</td> <td>(B)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Massa piknometer kosong</td> <td>(A)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Massa air</td> <td>(B-A)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Massa piknometer + aspal + air</td> <td>(D)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Massa piknometer + aspal</td> <td>(C)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Massa air</td> <td>(D-C)</td> <td>gram</td> </tr> <tr> <td>Berat Jenis</td> <td><math>\frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Berat Jenis Rata-rata :</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Berat Jenis Terkoreksi :</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Berat jenis rata-rata x <math>W_T</math></td> </tr> </tbody> </table>					Benda Uji 1	Benda Uji 2	Massa piknometer + aspal	(C)	gram	Massa piknometer kosong	(A)	gram	Massa aspal	(C-A)	gram	Massa piknometer + air	(B)	gram	Massa piknometer kosong	(A)	gram	Massa air	(B-A)	gram	Massa piknometer + aspal + air	(D)	gram	Massa piknometer + aspal	(C)	gram	Massa air	(D-C)	gram	Berat Jenis	$\frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$		Berat Jenis Rata-rata :			Berat Jenis Terkoreksi :			Berat jenis rata-rata x $W_T$		
	Benda Uji 1	Benda Uji 2																																											
Massa piknometer + aspal	(C)	gram																																											
Massa piknometer kosong	(A)	gram																																											
Massa aspal	(C-A)	gram																																											
Massa piknometer + air	(B)	gram																																											
Massa piknometer kosong	(A)	gram																																											
Massa air	(B-A)	gram																																											
Massa piknometer + aspal + air	(D)	gram																																											
Massa piknometer + aspal	(C)	gram																																											
Massa air	(D-C)	gram																																											
Berat Jenis	$\frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$																																												
Berat Jenis Rata-rata :																																													
Berat Jenis Terkoreksi :																																													
Berat jenis rata-rata x $W_T$																																													
$W_T$ adalah massa jenis air berdasarkan temperature pengujian $(W_T \text{ pada } 15,6^\circ\text{C} = 0,999 \text{ gr/cc, } W_T \text{ pada } 25^\circ\text{C} = 0,997 \text{ gr/cc})$																																													

Berikut adalah tabel *job mix* formula total campuran limbah batu bara (*fly ash*) pada kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%.

**Tabel 3. 2** Job Mix Formula dengan campuran limbah batu bara (*fly ash*)

No	Uraian Material	Komposisi % terhadap campuran				Berat Total Material (gr)			
		0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%
1	Limbah batu bara								
2	Agregat ukuran maks. ½"								
3	Agregat ukuran maks. ¾"								
4	Abu batu								
5	Filler								
6	Aspal								
TOTAL									

#### F. Metode Analisa Data

Hasil pengujian akan dicatat dalam formulir-formulir pengujian, dan kemudian data tersebut akan dianalisis dan dihitung sesuai metode uji yang dijelaskan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga menghasilkan data pengujian yang sesuai dengan standar. Data tersebut akan diolah menggunakan aplikasi excel dan SPSS.

#### Pengolahan Data Menggunakan Aplikasi Excel

1. Pengujian abrasi agregat dengan menggunakan mesin abrasi *Los Angeles*

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100 \%$$

Dengan :

a : berat benda uji awal (gr)

b : berat benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (gr)



## 2. Pengujian saringan agregat

### a) Berat Tertahan Kumulatif (BTK) (gram)

$$BTK_{m2} = BTK_{m1} + BTI_{m2}$$

Dimana :

BTK = Berat Tertahan Kumulatif (gram)

BTI = Berat Tertahan Individu (gram)

### b) Tertahan Kumulatif (TK) (%)

$$TK = \frac{BTK}{BS} \times 100\%$$

Dimana :

TK = Tertahan Kumulatif (%)

BTK = Berat Tertahan Kumulatif (gram)

BS = Berat Sampel (gram)

### c) Lolos Kumulatif (LK) (%)

$$LK = 100 - TK$$

Dimana :

LK = Lolos Kumulatif (%)

TK = Tertahan Kumulatif (%)

## 3. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

### a) Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung berat jenis massal, yang diukur terhadap total volume pori yang ada:

$$\frac{A}{B - C}$$

BJ *Bulk* agregat kasar

$$\frac{A}{B + S - C} \quad \text{BJ Bulk agregat halus}$$

Dimana:

A = Berat Spesimen Kering Oven (gr)

B = Berat piknometer + air (gr)

C = Berat piknometer + benda uji + air (gr)

S = Berat sampel (gr)

b) Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung berat jenis, yang merupakan jumlah volume partikel dan volume pori yang secara eksklusif diresapi oleh aspal.

$$\frac{B}{B - C} \quad \text{BJ SSD agregat kasar}$$

$$\frac{S}{B + S - C} \quad \text{BJ SSD agregat halus}$$

Dimana:

B = Berat piknometer + air (gr)

C = Berat piknometer + benda uji + air (gr)

S = Berat sampel (gr)

c) Berat Jenis Semu

Pengukuran berat jenis hanya mempertimbangkan volume partikel dan mengabaikan volume pori-pori yang memungkinkan air

melewatinya. Rumus berikut digunakan untuk menentukan berat jenis yang tampak :

$$\frac{A}{A - C} \quad \text{BJ Semu agregat kasar}$$

$$\frac{A}{B + A - C} \quad \text{BJ Semu agregat halus}$$

Dimana:

A = Berat Spesimen Kering Oven (gr)

B = Berat piknometer + air (gr)

C = Berat piknometer + benda uji + air (gr)

#### 4. Pengujian *Marshall Test*

##### a) *Kepadatan (density)*

$$\text{Kepadatan} = \frac{c}{e - d}$$

Dengan :

c = berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

e = berat benda uji SSD setelah dipadatkan (gr)

d = berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

##### b) *VIM (Void In the Mix)*

$$\text{VIM} = 100 - \frac{(100xg)}{h}$$

Dengan :

VIM = rongga udara pada campuran (%)

$g$  = BJ. Bulk campuran (gr/cc)

$h$  = GMM (BJ. Maks kombinasi campuran agregat) (gr/cc)

c) VMA (*Void in Mineral Agregat*)

$$\text{VMA} = 100 - \frac{(100-b)g}{gsb}$$

Dengan :

VMA = rongga udara pada mineral agregat (%)

$b$  = persentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)

$g$  = BJ. Bulk campuran (gr/cc)

$gsb$  = BJ. Bulk agregat campuran (gr/cc)

d) VFA (*Void Filled With Asphalt*)

$$\text{VFA} = 100 \frac{(i-j)}{i}$$

Dengan :

VFA = persentase rongga udara yang terisi aspal (%)

$i$  = persentase rongga udara pada mineral agregat (%)

$j$  = persentase rongga udara pada campuran (%)

e) Stabilitas

$$m = l \times \text{kalibrasi}$$

Dengan :

$m$  = nilai stabilitas (kg)

$l$  = pembaca arloji stabilitas (strip)

f) *Marshall Quotient (MQ)*

$$MQ = \frac{m}{n}$$

Dengan :

MQ = marshall quotient (kg/mm)

m = marshall stability (kg)

n = flow marshall (mm)

5. Pengujian Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)

a) Berat Sampel (gram)

$$C = A - B$$

Dengan :

C = Berat Sampel (gr)

A = Berat Sampel + Tempat (gr)

B = Berat Tempat (gr)

b) Berat Jenis

$$F = \frac{C}{(C+D-E)}$$

Dengan :

F = Berat Jenis

C = Berat Sampel (gr)

D = Berat Botol + Air (gr)

E = Berat Botol + Sampel + Air (gr)

c) Berat Suhu Terkoreksi (gr/cc)

$$I = F \times H$$

Dengan :

I = Berat Suhu Terkoreksi (gr/cc)

F = Berat Jenis

H = Koreksi Suhu (gr/cc)

6. Pengujian Berat Jenis Aspal

a) Berat Jenis Aspal

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$$

Dengan :

C-A = Massa aspal (gr)

B-A = Massa air I (gr)

D-C = Massa air II (gr)

b) Berat Jenis Terkoreksi (gr/cc)

$$\text{BJ. Terkoreksi} = \text{BJ aspal} \times W_T$$

Dengan :

$W_T$  = massa jenis air berdasarkan temperature pengujian (gr/cc)

( $W_T$  pada  $15,6^\circ\text{C} = 0,999$  gr/cc,  $W_T$  pada  $25^\circ\text{C} = 0,997$  gr/cc)

## **Pengolahan Data Menggunakan Aplikasi SPSS**

### 1. Uji Normalitas

Uji normalitas Shapiro-Wilk merupakan teknik statistik yang digunakan untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal. Hipotesis pengujiannya adalah sebagai berikut:

H0 = Data berdistribusi normal

H1 = Data tidak berdistribusi normal

Jika *p-value* dari uji Shapiro-Wilk lebih besar dari taraf signifikansi (biasanya 0,05), maka hipotesis nol diterima yang berarti data berdistribusi normal. Jika *p-value* lebih kecil dari tingkat signifikansi, maka hipotesis tidak ditolak yang berarti data tidak berdistribusi normal.

### 2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah beberapa variasi data dari populasi memiliki varian yang sama atau tidak. Menurut Joko Widiyanto (2010:51), dasar atau garis besar untuk pengambilan keputusan dalam pengujian homogenitas adalah sebagai berikut :

- a. Nilai signifikansi atau koefisien signifikansi yang kurang dari 0,05 menunjukkan bahwa varians dua atau lebih kelompok data populasi tidak sama (tidak homogen). B. Varians dua atau lebih kelompok data populasi adalah sama (homogen).

### 3. Uji Linieritas

Uji linieritas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variable mempunyai hubungan linier secara signifikan atau tidak. Dasar pengambilan keputusan dalam uji linieritas dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

#### a. Membandingkan Nilai Signifikansi (Sig.) dengan 0,05

- Jika nilai *Deviation from Linearity* Sig.  $> 0,05$ , maka ada hubungan yang linier secara signifikan antara variable independent dengan variable independent.
- Jika nilai *Deviation from Linearity* Sig.  $< 0,05$ , maka tidak ada hubungan yang linier secara signifikan antara variable independent dengan variable independent.

#### b. Membandingkan Nilai F hitung dengan F tabel

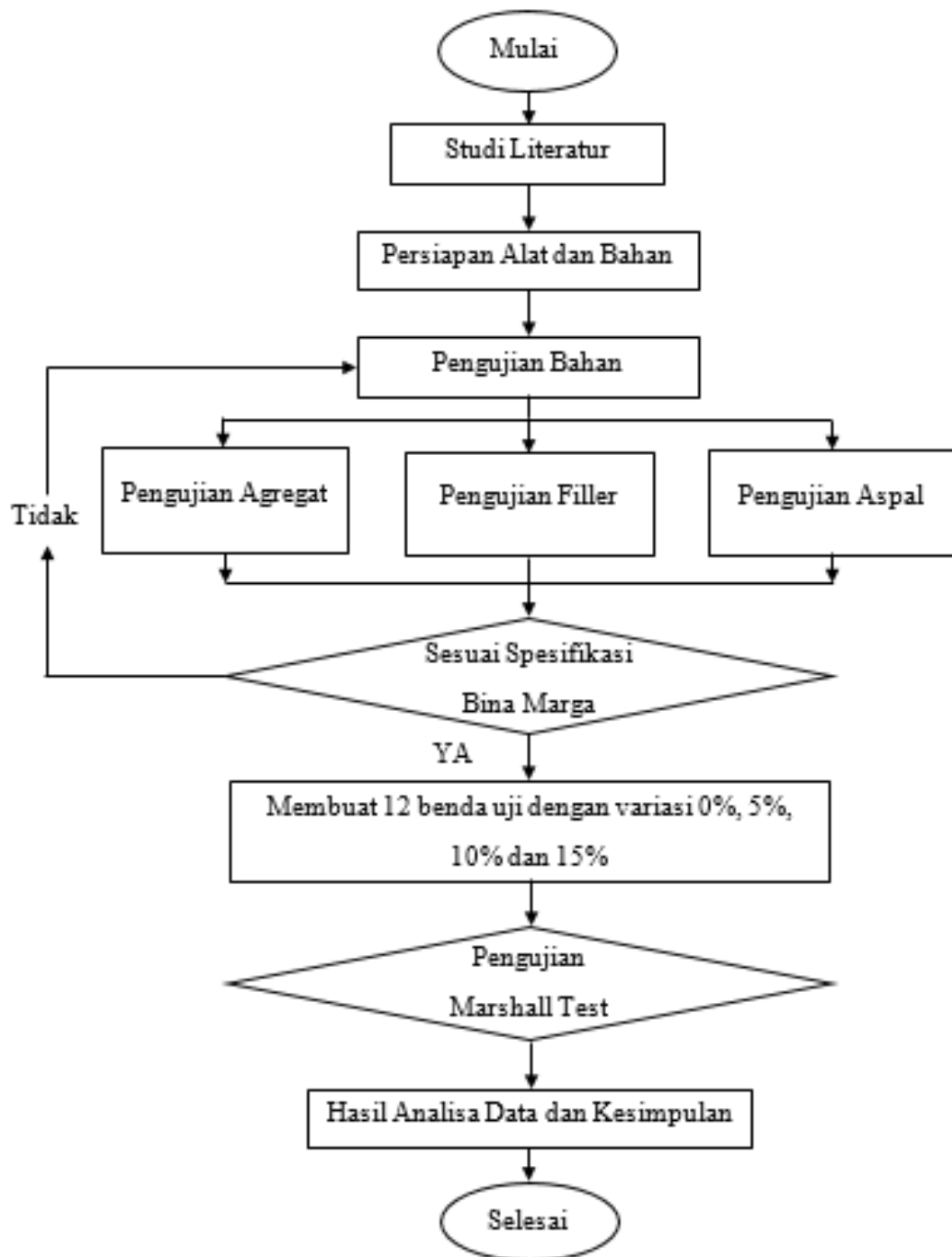
- Jika nilai F hitung  $< F$  tabel, maka ada hubungan yang linier secara signifikan antara variable independent dengan variable independent.
- Jika nilai F hitung  $> F$  tabel, maka tidak ada hubungan yang linier secara signifikan antara variable independent dengan variable independent.

### 4. Analisis Regresi

Analisis regresi merupakan suatu metode atau teknik analisis hipotesis penelitian untuk menguji ada tidaknya pengaruh antara variable satu dengan variable lain yang dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik.



### G. Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 108** Diagram Alir Penelitian

(Sumber : Data Pribadi)