TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH BAHAN TAMBAH LIMBAH PLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) DENGAN BAHAN IKAT PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS

(ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) PLASTIC WASTE ADDITIVE WITH PEN 60/70 BINDER ON THE CHARACTERISTICS OF POROUS ASPHALT MIXTURES)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Sabri Adrian
21511172

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL-PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2026

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH BAHAN TAMBAH LIMBAH PLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) DENGAN BAHAN IKAT PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS

(ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) PLASTIC WASTE ADDITIVE WITH PEN 60/70 BINDER ON THE CHARACTERISTICS OF POROUS ASPHALT MIXTURES)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Sabri Adrian
21511172

Disetujui:
Pembimbing

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
Tanggal: 14 April 2026

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH BAHAN TAMBAH LIMBAH PLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) DENGAN BAHAN IKAT PEN 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS

(ANALYSIS OF THE EFFECT OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) PLASTIC WASTE ADDITIVE WITH PEN 60/70 BINDER ON THE CHARACTERISTICS OF POROUS ASPHALT MIXTURES)

Disusun oleh

Sabri Adrian
21511172

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal Januari 2026

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I	Penguji I	Penguji II
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T.,M.T.,IPP.	Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.	Pravogo Afang Pravitno, S.T., M.Sc.
NIK: 21511307	NIK: 955110103	NIK: 205111033

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil

30/1/2026

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Januari 2026

Pembuat Peryataan

Sabri Adrian

Nim: 21511172

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Pengaruh Bahan Tambah Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dengan Bahan Ikat Pen 60/70 terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus *(Analysis of the Effect of Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Waste Additive with Pen 60/70 Binder on the Characteristics of Porous Asphalt Mixtures)*" dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Selama proses penyusunan, penulis menghadapi berbagai tantangan dan keterbatasan. Namun demikian, berkat bimbingan, arahan, masukan, serta dukungan dari berbagai pihak, seluruh rangkaian kegiatan penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan lancar. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir I, yang telah memberikan saran, kritik, dan koreksi sehingga Tugas Akhir ini dapat disempurnakan dengan lebih baik.
3. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir I, yang telah memberikan saran, kritik, dan koreksi sehingga Tugas Akhir ini dapat disempurnakan dengan lebih baik.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM, selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam

Indonesia, atas dukungan dan fasilitas akademik yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan.

5. Bapak Pranoto, Bapak Sukamto, dan Mas Giri Widhiatmoko, selaku laboran Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan teknis kepada penulis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Kedua orang tua tercinta, Ayah dan Ibu, yang senantiasa menjadi sumber kekuatan, doa, dan motivasi utama bagi penulis. Terima kasih atas kasih sayang, dukungan tanpa pamrih, serta doa yang tiada henti. Segala pengorbanan, nasihat, dan semangat yang diberikan menjadi motivasi terbesar dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Kakak tercinta dan St. Syadiyah Putri Utami yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Ahroz, Bara, Genta, Yoga, Rahmat, serta teman-teman lainnya, yang telah banyak membantu penulis selama kegiatan di laboratorium.

Yogyakarta, Januari 2026

Penulis

Sabri Adrian

Nim: 21511172

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

HALAMAN PENGESAHAN iii

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv

DEDIKASI v

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI viii

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xv

DAFTAR LAMPIRAN xvii

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xix

ABSTRAK xxi

ABSTRACT xxii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1 Tinjauan Umum 7

2.2 Penelitian Terdahulu 7

2.2.1 *Polyethylene Terephthalate* (PET) 7

2.2.2 Aspal Porus (*Porous Asphalt*) 10

2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini 13

BAB III LANDASAN TEORI 17

3.1 Perkerasan Jalan 17

3.2 Jenis Perkerasan Jalan 17

3.3 Perkerasan Lentur 18

3.4 Aspal Porus 19

3.4.1 Spesifikasi Aspal Porus 19

3.4.2 Gradasi Aspal Porus 20

3.5 Penentuan KAO Campuran Aspal Porus 21

3.6 Bahan Penyusun Perkerasan 21

3.6.1 Agregat 21

3.6.2 Aspal 23

3.6.3 Bahan Tambah Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) 24

3.7 Pengujian Karakteristik Pengujian *Marshall* 27

3.7.1 *Void in Total Mix* (VITM) 28

3.7.2 *Void in Mineral* Agregate (VMA) 28

3.7.3 *Void Filled with Asphalt* (VFWA) 29

3.7.4 Kelelehan *(Flow)* 29

3.7.5 Kepadatan (*Density*) 30

3.7.6 Stabilitas *(Stability)* 30

3.7.7 *Marshall Quontient* (MQ) 31

3.8 *Cantabro Loss* (CL) 31

3.9 *Asphalt Flow Down* (AFD) 32

3.10 *Indirect Tensile Strenght* (ITS) 33

3.11 *Index of Retained Strenght* (IRS) 33

BAB IV METODE PENELITIAN 35

4.1 Tinjauan Umum 35

4.2 Metode Penentuan Sampel 35
4.3 Metode Pengambilan Data 36
4.4 Tahapan Penelitian 36
4.4.1 Pemeriksaan Agregat 37
4.4.2 Pemeriksaan Aspal 37
4.4.3 Persiapan Peralatan 39
4.4.4 Perencanaan Campuran (*Mix Design*) 40
4.4.5 Pembuatan dan Proporsi Campuran 44
4.5 Rancangan Benda Uji 44
4.6 Pelaksanaan Pengujian 45
4.6.1 Pembuatan Benda Uji 45
4.6.2 Pengujian *Marshall Standard* (MS) 46
4.6.3 Pengujian *Cantrabro Loss* (CL) 47
4.6.4 Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD) 47
4.6.5 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) 48
4.6.6 Pengujian *Index of Retained Strength* (IRS) 48
4.7 *Flow Chart* Penelitian 49
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 52
5.1 Hasil Penelitian 52
5.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal 52
5.1.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat 56
5.1.3. Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 57
5.1.4. Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 60
5.2 Pembahasan 62
5.2.1. Karakteristik Aspal 62
5.2.2. Karakteristik Agregat Kasar 78
5.2.3. Karakteristik Agregat Halus 79

5.2.4. Karakteristik *Marshall, CL,* dan *AFD* Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus 80
5.2.5. Karakteristik *Marshall* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 89
5.2.6. Karakteristik *Cantabro Loss* (CL) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 102
5.2.7. Karakteristik *Asphalt Flow Down* (AFD) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 104
5.2.8. Karakteristik *Index Retained Strenght* (IRS) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 106
5.2.9. Karakteristik *Indirect Tensile Strenght* (ITS) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 108
5.2.10. Tinjauan Karakteristik Pengaruh Bahan Tambah PET Pada Campuran Aspal Porus 110

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 119
6.1 Kesimpulan 119
6.2 Saran 120

DAFTAR PUSTAKA 122

LAMPIRAN 126

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Tentang PET 15
Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Tentang Aspal Porus 16
Tabel 3.1 Spesifikasi Aspal Porus 20
Tabel 3.2 Gradasi Aspal Porus 20
Tabel 3.3 Spesifikasi Penentuan KAO Aspal Porus 21
Tabel 3.4 Ketentuan Agregat Kasar 22
Tabel 3.5 Ketentuan Agregat Halus 23
Tabel 3.6 Persyaratan Aspal Pen 60/70 24
Tabel 3.7 Persyaratan Aspal Modifikasi Polimer 24
Tabel 4.1 Gradasi Rencana Aspal Porus Spesifikasi AAPA 2004 40
Tabel 4.2 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 4,5% 42
Tabel 4.3 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 5% 43
Tabel 4.4 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 5,5% 43
Tabel 4.5 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 6% 43
Tabel 4.6 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 6,5% 44
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan KAO 45
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO 45
Tabel 5.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 0% PET Berdasarkan Bina Marga 2018 Revisi 2 53
Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 2% PET Berdasarkan SNI 6749 2008 54
Tabel 5.3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 4% PET Berdasarkan SNI 6749 2008 54
Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 6% PET Berdasarkan SNI 6749 2008 55
Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 8% PET Berdasarkan SNI 6749 2008 55
Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar 56

Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus 56
Tabel 5.8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Filler 56
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall Standard* Campuran Aspal Porus 57
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Karakteristik *Cantabro Loss* Campuran Aspal Porus 57
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Karakteristik *Asphalt Flow Down* Campuran Aspal Porus 58
Tabel 5.12 Hasil Penentuan Berat Bahan Tambah PET 60
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall Standard* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 61
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Karakteristik *Cantabro Loss* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 61
Tabel 5.19 Hasil Pengujian Karakteristik *Asphalt Flow Down* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 61
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Karakteristik *Index Retained Strenght* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 62
Tabel 5.21 Hasil Pengujian Karakteristik *Indirect Tensile Strenght* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET 62
Tabel 5.18 Pemenuhan Persyaratan Parameter Aspal Pen 60/70 terhadap Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 111
Tabel 5.19 Pemenuhan Persyaratan Aspal Pen 60/70 dengan Bahan Tambah PET Terhadap Spesifikasi SNI 6749 2008 111
Tabel 5.20 Pemenuhan Persyaratan Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET Terhadap Spesifikasi AAPA 2004 112
Tabel 5.26 Pengaruh Kadar Bahan Tambah PET Terhadap Spesifikasi Campuran Aspal Porus 113
Tabel 5.27 Perbandingan Pengaruh Kadar PET Terhadap Volumetrik Campuran Aspal Porus 114
Tabel 5.28 Perbandingan Pengaruh Kadar PET Terhadap Kekuatan Campuran Aspal Porus 115

Tabel 5.29 Perbandingan Pengaruh Kadar PET Terhadap Durabilitas Campuran Aspal Porus 116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Susunan Lapisan Perkerasan Lentur 19
Gambar 4.1 Flow Chart Penelitian 50
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VITM 58
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Cantabro Loss 59
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Asphalt Flow Down 59
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Berat Jenis 63
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Penetrasi 64
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Daktilitas 67
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Titik Nyala 69
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Titik Bakar 71
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Titik Lembek 73
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar PET dengan PI 76
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Sbit 77
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VITM 81
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA 82
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFWA 83
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelehan 84
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan 85
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas 86
Gambar 5.16 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan MQ 87
Gambar 5.17 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Cantabro Loss 88
Gambar 5.18 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Asphalt Flow Down 89
Gambar 5.19 Grafik Hubungan Kadar PET dengan VITM 90
Gambar 5.20 Grafik Hubungan Kadar PET dengan VMA 92
Gambar 5.21 Grafik Hubungan Kadar PET dengan VFWA 93
Gambar 5.22 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Kelelehan 95
Gambar 5.23 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Kepadatan 97
Gambar 5.24 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Stabilitas 99

Gambar 5.25 Grafik Hubungan Kadar PET dengan MQ 101
Gambar 5.26 Grafik Hubungan Kadar PET dengan *Cantabro Loss* 103
Gambar 5.27 Grafik Hubungan Kadar PET dengan *Asphalt Flow Down* 105
Gambar 5.28 Grafik Hubungan Kadar PET dengan IRS 107
Gambar 5.29 Grafik Hubungan Kadar PET dengan ITS 109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 127
Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 2% PET 128
Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 4% PET 129
Lampiran 4 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 6% PET 130
Lampiran 5 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 8% PET 131
Lampiran 6 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 132
Lampiran 7 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 2% PET 133
Lampiran 8 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 4% PET 134
Lampiran 9 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 6% PET 135
Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 8% PET 136
Lampiran 11 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 137
Lampiran 12 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 2% PET 138
Lampiran 13 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 4% PET 139
Lampiran 14 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 6% PET 140
Lampiran 15 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 8% PET 141
Lampiran 16 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 142
Lampiran 17 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/7070 + 2% PET 143
Lampiran 18 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/7070 + 4% PET 144
Lampiran 19 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/7070 + 6% PET 145
Lampiran 20 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/7070 + 8% PET 146
Lampiran 21 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 147
Lampiran 22 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 2% PET 148
Lampiran 23 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 4% PET 149
Lampiran 24 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 6% PET 150
Lampiran 25 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 8% PET 151
Lampiran 26 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam *TCE* 152
Lampiran 27 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar 153

Lampiran 28 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal 154
Lampiran 29 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles* 155
Lampiran 30 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus 156
Lampiran 31 Pemeriksaan *Sand Equivalent* 157
Lampiran 32 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu* 158
Lampiran 33 Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 KAO 159
Lampiran 34 Grafik Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 KAO 160
Lampiran 35 Pemeriksaan *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 KAO 161
Lampiran 36 Grafik *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 KAO 162
Lampiran 37 Pemeriksaan *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 KAO 163
Lampiran 38 Grafik *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 KAO 164
Lampiran 39 Penentuan KAO Aspal Porus Pen 60/70 165
Lampiran 40 Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 + PET 166
Lampiran 41 Grafik Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 + PET 167
Lampiran 42 Pemeriksaan *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 + PET 168
Lampiran 43 Grafik *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 + PET 169
Lampiran 44 Pemeriksaan *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 PET 170
Lampiran 45 Grafik *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 + PET 171
Lampiran 46 Pemeriksaan IRS Aspal Porus Pen 60/70 + PET 172
Lampiran 47 Grafik IRS Aspal Porus Pen 60/70 + PET 173
Lampiran 48 Pemeriksaan ITS Tanpa Rendaman Aspal Porus Pen 60/70 + PET 174
Lampiran 49 Grafik ITS Aspal Porus Pen 60/70 + PET 175

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AC	= *Asphalt Concrete*
AC-BC	= *Asphalt Concrete – Binder Course*
AC-WC	= *Asphalt Concrete – Wearing Course*
AFD	= *Asphalt Flow Down* (%)
AAPA	= *Australian Asphalt Pavement Association*
ASTM	= *American Society for Testing and Materials*
CL	= *Cantabro Loss* (%)
Density (ρ)	= Kepadatan campuran (g/cm³)
F	= *Flow* / Kelelehan Marshall (mm)
FT-IR	= *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*
Gmb	= *Bulk Specific Gravity*
Gmm	= *Maximum Theoretical Specific Gravity*
Gsb	= *Bulk Specific Gravity*
HDPE	= *High Density Polyethylene*
HMA	= *Hot Mix Asphalt*
IDT	= *Indirect Tensile Test*
IKS / IRS	= *Index of Retained Strength* (%)
IPP	= Insinyur Profesional Pratama
IRI	= *International Roughness Index*
ITS	= *Indirect Tensile Strength* (kPa)
KAO	= Kadar Aspal Optimum
KLHK	= Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
LDPE	= *Low Density Polyethylene*
MQ	= *Marshall Quotient* (kg/mm)
MS	= *Marshall Standard* (kg)
OGFC	= *Open Graded Friction Course*

Pb	= Persentase kadar aspal (%)
PET	= *Polyethylene Terephthalate*
PP	= *Polypropylene*
RAP	= *Reclaimed Asphalt Pavement*
S	= Stabilitas *Marshall* (kg)
SEM	= *Scanning Electron Microscope*
SNI	= Standar Nasional Indonesia
TPA	= Tempat Pembuangan Akhir
TPS	= Tempat Pembuangan Sampah
TSR	= *Tensile Strength Ratio* (%)
VFWA	= *Void Filled With Asphalt* (%)
VITM	= *Void in Mix / Void in Total Mix* (%)
VMA	= *Void in Mineral Aggregate* (%)

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan infrastruktur jalan menuntut material perkerasan yang memiliki kinerja drainase baik, stabilitas memadai, dan durabilitas tinggi. Aspal porus mampu memenuhi kebutuhan drainase, namun memiliki kelemahan pada stabilitas dan ketahanan terhadap pelepasan butir. Di sisi lain, limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang sulit terurai menimbulkan permasalahan lingkungan, tetapi berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambah aspal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan limbah PET terhadap karakteristik volumetrik, kekuatan, dan durabilitas campuran aspal porus menggunakan aspal Pen 60/70.

Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan metode pencampuran basah (*wet mixing*). PET dicampurkan ke dalam aspal panas dengan variasi kadar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat aspal. Parameter yang dianalisis meliputi VITM, VMA, VFWA, dan densitas untuk karakteristik volumetrik. stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) untuk kinerja struktural. serta *Asphalt Flow Down* (AFD), *Cantabro Loss* (CL), *Indirect Tensile Strength* (ITS), dan *Index Retained Strength* (IRS) untuk durabilitas, mengacu pada spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA, 2004), SNI 6749:2008 dan Bina Marga 2018 Revisi 2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan PET meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Kadar PET 4% - 6% memberikan performa paling optimal dengan peningkatan stabilitas Marshall, MQ, ITS, dan IRS, serta penurunan nilai AFD dan CL. Hal ini menunjukkan bahwa PET mampu meningkatkan kekakuan dan kohesi campuran sehingga lebih stabil terhadap suhu tinggi dan pelepasan butir. Dengan demikian, pemanfaatan limbah PET sebagai bahan tambah pada aspal porus berpotensi meningkatkan kinerja perkerasan jalan sekaligus mendukung pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan.

Kata kunci: Campuran Aspal porus; Durabilitas; Limbah plastik; *Marshall Standard*; *Polyethylene Terephthalate* (PET).

ABSTRACT

The increasing demand for road infrastructure requires pavement materials with good drainage performance, adequate stability, and high durability. Porous asphalt is capable of providing effective drainage; however, it generally exhibits lower stability and resistance to abrasion. Meanwhile, plastic waste in the form of Polyethylene Terephthalate (PET), which is difficult to decompose, poses serious environmental problems but has potential to be utilized as an asphalt additive. This study to analyze the effect of PET waste addition on the volumetric characteristics, strength, and durability of porous asphalt mixtures using Pen 60/70.

This research was conducted experimentally in the laboratory using the wet mixing method. PET was blended into hot asphalt with variation contents of 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% by weight of asphalt. The evaluated parameters included VITM, VMA, VFWA, and density to assess volumetric characteristics. stability, flow, and Marshall Quotient (MQ) to evaluate structural performance as well as Asphalt Flow Down (AFD), Cantabro Loss (CL), Indirect Tensile Strength (ITS), and Index Retained Strength (IRS) to assess durability performance, referring to the specifications of the Australian Asphalt Pavement Association (AAPA, 2004), SNI 6749:2008 and Bina Marga 2018 Revision 2.

The results indicate that the addition of PET improves the performance of porous asphalt mixtures. PET contents of 4% – 6% provided the most optimal performance, characterized by increased Marshall stability, MQ, ITS, and IRS values, along with reduced AFD and CL values. These findings demonstrate that PET enhances the stiffness and cohesion of the mixture, resulting in improved stability at high temperatures and greater resistance to abrasion. Therefore, the utilization of PET waste as an additive in porous asphalt mixtures has the potential to improve pavement performance while supporting sustainable plastic waste management.

***Keywords**: Durability*; *Marshall Standard*; *Plastic Waste*; *Polyethylene Terephthalate (PET)*; *Porous Asphalt.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah adalah sisa dari aktivitas manusia atau proses industri yang sudah tidak memiliki nilai guna secara langsung dan biasanya dibuang ke lingkungan. Limbah yang tidak ditangani dengan baik bisa mengakibatkan pencemaran tanah, air, dan udara, serta memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Di Indonesia, menurut informasi dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2023), volume limbah padat yang dihasilkan mencapai lebih dari 65 juta ton setiap tahun, di mana sebagian besar masih berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) tanpa proses daur ulang atau pemanfaatan kembali yang efektif. Masalah ini semakin rumit seiring dengan pertumbuhan urbanisasi, konsumsi, dan produksi industri di banyak sektor.Limbah bisa dikategorikan menurut bentuknya (padat, cair, gas), karakteristiknya (organik dan anorganik), serta asalnya (domestik, industri, pertanian, medis). Di antara berbagai jenis tersebut, limbah anorganik seperti plastik menarik perhatian khusus karena sifatnya yang non-*biodegradable*, yaitu tidak dapat terurai secara alami dalam waktu singkat, plastik mampu bertahan di alam lebih dari 100 tahun.

Sehingga dalam penelitian ini, fokus diarahkan pada pemanfaatan limbah plastik. Plastik merupakan material yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang ringan, kuat, dan biaya produksinya yang relatif rendah. Berbagai produk, seperti pembungkus makanan, peralatan rumah tangga, hingga kebutuhan industri, memanfaatkan bahan ini. Namun, di balik manfaatnya, plastik memiliki sifat yang sulit terurai sehingga menjadi salah satu penyumbang utama pencemaran lingkungan. Menurut Lin, dkk. (2024) Meskipun plastik memiliki banyak manfaat, penggunaan berlebihan dan pengelolaan limbah yang buruk menyebabkan pencemaran tanah dan air serta bahaya kesehatan bagi masyarakat, sehingga menjadi salah satu penyebab utama degradasi lingkungan.

Plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) termasuk jenis resin polimer termoplastik yang masuk dalam kelompok poliester. Menurut Joseph, dkk. (2024) PET adalah plastik yang paling umum ditemui dan paling banyak digunakan dalam produk sehari hari dan telah menjadi bahan penting dalam masyarakat modern. Dari banyaknya penggunaan dan kurangnya pengolahan ulang plastik PET menjadi salah satu penyumbang limbah plastik paling banyak sehingga perlu adaya upaya pengolahan limbah plastik PET salah satunya pemanfaatan dalam bidang konstruksi jalan raya. Menurut Ogundana. (2023) Limbah plastik dapat digunakan dalam industri kostruksi seperti pembangunan jalan yang merupakan cara mengurangi akumulasi limbah plastik di tempat pembuangan akhir, sehingga mendukung ekonomi sirkular yang berkelanjutan.

Perkerasan aspal porus *(porous asphalt)* adalah campuran aspal yang di kembangkan dari perkerasan aspal *waering course* / AC-WC dan merupakan campuran beraspal panas bergradasi terbuka yang terdiri dari agregat bergradasi kasar yang seragam dengan bahan pengikat aspal. *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) telah menentukan kadar rongga pada campuran aspal porus (VIM) sekitar 18% - 20%. Aspal porus memiliki kemampuan mengalirkan air dari permukaan ke pori porinya yang di rancang untuk menguragi genangan di permukaannya sehinggga. Aspal porus mejadi salah satu solusi perkerasan lapis atas untuk mengurangi limpasan air hujan dan kebisingan ban kendaraan karena susunan strukturalnya yang unik. Bichajlo dan Kolodziej, (2018) Walaupun aspal porus memiliki keunggulan tetapi juga memiliki kelamahan, salah satu kelemahan utamanya adalah tingkat stabilitas dan durabilitas yang cenderung rendah. Kelemahan inilah yang mungkin menjadikan bahan pertimbangan penggunaannya karena tingkat diaplikasikan di Indonesia masih tergolong sangat jarang di gunakan.

Beberapa Penelitian terdahulu pada umumnya menunjukan rendahnya nilai stabilitas dan durabilitas, menyebabkan ketergantungannya terhadap mutu aspal sebagai bahan pengikatnya. Guna untuk menaikkan stabilitas dan mutu campuran aspal pengikat diperlukan bahan tambahan atau modifikasi campuran aspal dengan bahan tambah. Bahan tambah yang paling banyak digunakan adalah polimer, dan polimer adalah kandungan yang ada dalam plastik. Seperti penelitian yang di

lakukan Sa'dillah, dkk. (2024) tentang performa campuran aspal porus menggunakan plastik HDPE *(High Density Polyethylene)* diketahui variasi kadar HDPE 0%, 2%, 4%, 6%, 8%. Dari pengujian *Marshall* diperoleh nilai VIM tertinggi diperoleh pada kadar 2% sebesar 18,18%, nilai VMA tertinggi di peroleh pada kadar 8% sebesar 36,90%, nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada kadar 4% sebesar 949,31 kg, nilai flow tertinggi diperoleh pada kadar 2% dan 8% sebesar 2,30 mm, dan nilai MQ tertinggi 667,52 kg/mm. Artinya penambahan limbah plastik HDPE dapat meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Penelitian ini menunjukan adanya potensi penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah dalam campuran aspal porus

Sehingga pada penelitian ini bertujuan untuk menilai jenis limbah plastik PET sebagai bahan tambah dalam campuran aspal porus. Untuk melakukan pengujian PET sebagai bahan tambah dalam campuran aspal porus dilakukan beberapa metode pengujian seperti pengujian pemeriksaan bahan, *Marshall Standard* (MS), *Asphalt Flow Down* (AFD), *Cantabro Loss* (CL), *Indirect Tensile Strenght* (ITS), dan *Index of Retained Strenght* (IRS).

Penelitian ini diharapkan dapat memeberikan inovasi dalam upaya pengurangan limbah plastik PET dengan memamfaatkannya dalam kostruksi perkerasan jalan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran aspal porus dan menjadi referensi alternatif pemanfaatan limbah dalam teknologi perkerasan jalan yang ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, dapat di rumuskan rumusan masalah sebagai barikut?

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah terhadap karakteristik volumetrik dan kekuatan aspal porus?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap terhadap kemampuan dalam menahan aliran aspal campuran aspal porus?
3. Bagaimana pengaruh pengunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap ketahanan kehilangan butir campuran aspal porus?

4. Bagaimana pengaruh penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah terhadap ketahanan akibat kerusakan akibat pengaruh air campuran aspal porus?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari uraian rumusan masalah di dapatkan tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah terhadap karakteristik volumetrik dan kekuatan aspal porus.
2. Mengetahui pengaruh *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah terhadap kemampuan dalam menahan aliran aspal.
3. Mengetahui pengaruh *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah ketahanan kehilangan butir campuran aspal porus.
4. Mengetahui pengaruh *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah terhadap ketahanan akibat kerusakan akibat pengaruh air campuran aspal porus.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang akan diperoleh sebagai berikut.

1. Manfaat akademik dapat dijadikan referensi pemanfaatan limbah dalam perkerasan jalan
2. Memafaatkan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam bidang perkerasan jalan
3. Memberikan informasi karakteristik campuran aspal porus dengan bahan tambah limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini di tetapkan batasan – batasan sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilakukan Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

2. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70
3. Kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.
4. Campuran aspal yang dipakai adalah campuran aspal porus *(porous asphalt)*
5. Spesifikasi aspal porus *(porous asphalt)* yang digunakan adalah *Australian Asphalt Pavement Association* (2004).
6. Peraturan yang digunakan adalah Bina Marga 2018 Revisi 2.
7. Peraturan yang digunakan untuk menilai aspal modifikasi polimer SNI 6749:2008
8. Spesifikasi pencampuran menggunakan Xu (2021) tentang *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah.
9. Material yang digunakan berasal dari Laboratorium Jalan Raya,Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
10. Limbah plastik PET yang digunakan berasal dari tempat pembuangan sampah (TPS) Daerah Istimewa Yogyakarta.
11. Kadar *Polyethylene Terephthalate* (PET) dipakai 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% untuk menilai batas atas dan bawah.
12. Metode pencampuran yang digunakan adalah metode pencampuran basah (*wet mix*).
13. Pengujian kimia terhadap limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) tidak dilakukan dalam penelitian ini.
14. Pengujian terhadap karakteristik volumetrik campuran berdasarkan *density,* VITM, VFWA dan VMA.
15. Pengujian terhadap karakteristik kekuatan campuran berdasarkan stabilitas, *flow, Marshall Quontient* (MQ), *Indirect Tensile Strenght* (ITS).
16. Pengujian terhadap kemampuan campuran dalam menahan aliran aspal berdasarkan *Asphal Flow Down* (AFD).
17. Pengujian ketahanan terhadap kehilangan butir berdasarkan *Cantabro Loss* (CL)
18. Pengujian terhadap durabilitas campuran aspal berdasarkan *Index of Retained Strenght* (IRS).

19. Analisis karakteristik campuran aspal porus, pada penelitian ini adalah hasil dari pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam penelitian ini berdasarkan tinjauan pustaka dari beberapa penelitian terdahulu yang sudah dilakukan untuk mendapatkan teori teori dasar yang dijadikan referensi yang mendukung dan mambantu dalam menyelesaikan penelitian ini. Tinjauan pustakan berfungsi untuk memberi informasi mengenai perbedaan perbedaan dengan penelitian terdahulu yang telah dilakukan sebelumnya.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang bahan tambah pada perkerasan telah banyak dilakukan, sehingga dapat dijadikan konsep dan referensi pada penelitian yang akan dilakukan dan juga ringkasan penelitian terdahulu dibuat untuk membandingkan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan.

2.2.1 *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Fahmy, dkk. (2024) melakukan penelitian tentang analisis campuran aspal yang dimodifikasi dengan *Polyethylene Terephthalate* (PET), penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh limbah PET dengan campuran aspal panas *(Hot Mix Asphalt/HMA)* dengan variasi kadar aspal dan *Polyethylene Terephthalate* (PET). Tujuannya adalah untuk menemukan kombinasi terbaik yang dapat meningkatkan stabilitas, kekakuan, ketahanan terhadap *rutting* dan kelembaban. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 3%, 3,5%, 4% dan untuk variasi kadar PET adalah 6%, 7% dan 8% yang terdiri dari beberapa pengujian seperti *Marshall*, *Hamburg Wheel Tracking*, *Lost off Stability and Indirect Tensile Strength* (ITS) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil penelitian menunjukan kinerja optimal dicapai pada variasi kadar aspal 3% dan PET 8% yang menghasilkan peningkatan stabilitas, kekakuan dan telah sesuai dengan spesifikasi

standar desain campuran, selain itu stabilitas menujukan peningkatan hingga 26% pada campuran yang telah di modifikasi dengan PET jika di bandingkan dengan campuran tanpa PET, yang menujukan kinerja yang lebih baik dalam kondisi mengalami pembebanan. Campuran aspal yang telah dimodifikasi dengan PET juga menunjukkan ketahanan terhadap kelembaban yang lebih tinggi, ditunjukkan oleh nilai *Tensile Strength Ratio* (TSR) yang melampaui campuran tanpa PET hingga 7%. Dalam kesimpulan penelitian tersebut menjelaskan pemanfaatan limbah *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam campuran aspal memberikan kontribusi positif terhadap kinerja perkerasan jalan sekaligus menjadi solusi dalam pengolahan limbah yang berkelanjutan.

Gaus, dkk. (2022) juga melakukan penelitian tentang Pengaruh Penggunaan Limbah *Polyethylene Terephthalate* Terhadap Campuran Aspal *Concrete Binder Course* (AC-BC). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam bentuk serat ke dalam perkerasan campuran AC-BC dengan dua variasi kadar PET yakni 0,3% dan 0,6% yang dibandingkan dengan campuran aspal AC-BC tanpa PET. Untuk pengujiannya sendiri hanya menggunakan pengujian *Marshall* yang mencakup analisis *stabilitas, flow, Marshall Quotient* (MQ), VIM *(void in mix),* VFA *(void filled with asphalt), dan* VMA *(void in mineral aggregate).* Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mengukur kekuatan, kekakuan, dan fleksibilitas campuran aspal dan juga mencakup seberapa baik aspal modifikasi tersebut mengisi rongga-rongga pada campuran aspal AC-BC. Hasil dari pengujian menujukan dari semua variasi kadar aspal dan PET, variasi kadar aspal 6% dan PET 0,6% menujukan stabilitas tertinggi dibandingkan dengan variasi yang lain yakni sekitar 1457,38 kg, jika di bandingkan dengan variasi kadar aspal yang sama 6% tanpa PET naik sekitar 7,3%. Dengan variasi kadar aspal dan PET yang sama nilai VIM meningkat dari 4,52% menjadi 4,68% dengan kanaikan sekitar 2,3%. Untuk nilai flow menurun sebesar 17% dari campuran tanpa PET yang menandakan campuran menjadi lebih kaku, ditunjukan pula pada nilai MQ yang meningkat 29,45 juga menujukan peningkatan kekakuan. Nilai VFA dan VMA juga mengalami peningkatan yang berarti campuran memiliki karakteristik katahanan yang baik terhadap air dan oksidasi. Hasil

penelitian ini menujukan adanya potensi penggunaan limbah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam campuran sehingga dapat menjadi pembanding dengan penelitian yang akan dilakukan.

Sebagai pembanding penelitian Firda, dkk. (2022) juga melakukan penelitian dengan menggunakan *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah yang menjadi pembeda adalah jenis campuran yang digunakan pada penelitian ini menggunakan campuran aspal AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) dengan mengacu pada aturan spesifikasi Bina Marga 2018. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar PET 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% yang mengacu pada berat total campuran sedangkan untuk variasi kadar aspal menggunakan variasi 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dengan jenis aspal keras yang dicampur menggunakan metode pencampuran *dry mix* atau metode pencampuran kering dengan plastik PET yang dipotong ukuran tertentu kemudian hasil potongan dicampur dengan aspal panas lalu dicampur dan diaduk dengan agregat. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO) yang diharapkan menghasilkan kinerja campuran aspal terbaik berdasarkan pengujian *Marshall*. Sama seperti penelitian pada umumnya pengujian *Marshall* terdiri dari beberapa parameter seperti stabilitas, kelelehan (flow), *Marshall Quotient* (MQ), *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFA) yang diujikan pada dua kelompok campuran AC-WC tanpa PET dan AC-WC dengan PET dengan tiga sample tiap pengujian. Kadar aspal optimum (KAO) untuk campuran AC-WC tanpa PET adalah 6,1% dengan parameter pengujian *Marshall* telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, untuk campuran AC-WC dengan PET kadar aspal optimum (KAO) hanya pada variasi 0% dan 1% saja yang memenuhi standar spesifikasi yang artinya semakin tinggi kadar variasi PET menyebabkan nilai stabilitas dan MQ menurun dan nilai VIM, flow menurun tidak berada pada batas aman. Pada penelitian ini campuran dengan PET dengan kadar variasi 0,5% yang memberikan nilai parameter *Marshall* dalam batas aman dengan variasi 0,5% PET dan 6,1% aspal yakni VIM 4,1%, VMA 29,3%, VFA 80,7%, stabilitas 1020 kg, flow 3,2 mm, dan MQ 310 kg/mm. Penambahan kadar variasi PET dalam persentase yang tinggi dapat mempercepat kerusakan perkerasan jalan sehingga penelitian ini

menyarankan untuk penelitian selanjutnya memberikan inovasi lagi mengenai jenis plastik, kadar variasi dan jenis perkerasannya.

2.2.2 Aspal Porus (*Porous Asphalt*)

Hao, dkk. (2025) melakukan penelitian untuk mengevaluasi kinerja perkerasan aspal porus (*Porous Asphalt Pavement*) dalam jangka panjang yang dimodifikasi dengan berbagai limbah plastik daur ulang seperti LDPE (*Low Density Polyethylene*), HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylen*e), yang disubtitusikan dengan jenis aspal permforma (*Performance Grade*) PG-76 semua jenis plastik menggunakan metode pencampuran (*Wet Mix*). Pada penelitian ini menggunakan sistem penamaan yang berfungsi untuk mempermudah, seperti campuran tanpa plastik disebut PM-N sementara untuk campuran yang telah dimodifikasi dengan aspal PG-76 diberi penamaan sesuai dengan kadar variasinya, PM-5L (5% LDPE), PM-10L (10% LDPE), PM-15L (15% LDPE), PM-5P (5% PP), dan PM-5H (5% HDPE), tidak ada variasi kadar aspal karena semua campuran menggunakan aspal PG-76 telah dimodifikasi dengan kadar plastik tertentu.

Pada penelitian ini pengujian laboratorium mencakup beberapa aspek seperti pengujian *Hamburg Wheel Tracking Test* (HWTT) untuk menilai deformasi (*Rutting*), uji kekuatan tarik tidak langsung (IDT), uji abrasi *Cantabro* untuk ketahanan aus, dan uji *fatigue*. Selain itu pengujian *spektroskopi inframerah transformasi Fourier* (FT-IR) juga dilakukan untuk menilai tingkat oksidasi aspal yang telah melalui proses pengujian penuaan. Pengujian ini juga mencakup tiga metode penuaan jangka panjang yaitu *Long-Term Oven Aging*, *Weathering Chamber Aging*, dan *Xenon-Arc Aging* yang dirancang menyerupai kondisi lapangan. Pembangunan uji coba jalan juga dilakukan untuk menilai kinerja secara nyata campuran aspal porus dengan plastik di lapangan, jalan tersebut dibangun sepanjang 150 meter di ruas *Pan Island Expressway* (PIE) di Singapura. penelitian ini diawali dengan persiapan campuran aspal porus yang dimodifikasi dengan plastik sebanyak 5%, 10%, dan 15%, diikuti oleh pengondisian dengan tiga metode penuaan. Campuran kemudian diuji di laboratorium untuk mendapatkan data performa masing masing. Konstruksi uji coba jalan sepanjang 150 meter di *Pan Island Expressway* (PIE), Singapura, yang menggunakan campuran plastik porus

sebagai lapisan atas dan lapisan bawah dari campuran aspal padat. Kinerja lapangan dipantau selama 10 bulan setelah konstruksi melalui pengukuran *International Roughness Index* (IRI), kedalaman deformasi (rut depth), persentase retakan, dan kebisingan permukaan ban.

Hasil pengujian menunjukan penambahan plastik LDPE 5% mengalami peningkatan kekuatan tarik, ketahanan aus dan umur *fatique* serta penuaan jangka panjang, jika dibandingkan dengan campuran dengan 15% LDPE yang menujuakna penurunan signifikan. Dari sisi *rutting resistance*, campuran plastik menunjukkan performa baik setelah *long-term oven aging* dan *xenon-arc aging*, tetapi menurun setelah *weathering chamber aging* karena pengaruh kelembaban. Sehingga dapat disimpulkan campuran aspal porus dengan LDPE 5% menghasilkan performa jangka panjang yang optimal, baik dari aspek struktural, fungsional, maupun keberlanjutan ekonomi. Walaupun LDPE 15% meskipun meningkatkan IDT dan *fatigue life*, justru secara signifikan menurunkan ketahanan terhadap abrasi dan retak, sehingga dianggap tidak layak untuk penggunaan jangka panjang.

Penelitian ini menujukan campuran aspal dengan plastik dapat menjadi solusi perkerasan jalan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan sekaligus mengurangi limbah plastik. Kedepannya penggunaan jenis plastik plastik jenis lain seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET) memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal, mengingat PET tersedia dalam jumlah besar sebagai limbah botol plastik dan memiliki sifat termoplastik yang memungkinkan integrasi dengan aspal. Sehingga menjadi referensi dalam penelitian yang akan dilakukan dengan menggunakan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET).

Susanto, dkk. (2023) juga melakukan penelitian untuk memahami kinerja perkerasan aspal berpori *(Porous Asphalt)* dengan penambahan limbah plastik *polyethylene terephthalate* (PET) dan karet ban dalam bekas kendaraan. Campuran aspal perpori yang digunakan adalah lapisan A*sphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) yang menggunakan aspal PEN 60/70, dengan variasi kadar plastik dan karet sebesar 1%, 2%, dan 3%. Untuk pengujiannnya menggunakan jenis pengujian laboratorim yang meliputi uji karakteristik *Marshall* (stabilitas, *flow*, VIM, dan

MQ), *Indirect Tensile Strength* (ITS), uji ravelling (ketahanan abrasi) serta uji permeabilitas. penelitian dimulai dengan persiapan material dan pengujian karakteristik bahan (agregat, filler, dan aspal). *Mix Design* tahap pertama menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal 4,5% hingga 6,5%, di mana diperoleh KAO sebesar 5,5% berdasarkan parameter *Marshall*. Campuran aspal kemudian dimodifikasi dengan penambahan limbah plastik dan karet sebanyak 1%, 2%, dan 3%, yang dicampur menggunakan metode pencampuran basah (*Wet Mix*), yaitu dimasukkan langsung ke dalam aspal panas dan diaduk pada suhu 170°C selama 30 menit. Campuran kemudian diuji untuk masing-masing variasi kadar limbah plastik dan karet.

Berdasarkan hasil pengujian menujukan campuran dengan variasi 2% kadar limbah plastik dan karet telah memberikan hasil yang terbaik dari keseluruhan campuran. Uji *Marshall* menujukan hanya kadar 2% dan 3% saja yang memenuhi stabilitas. Untuk *Void in Mix* (VIM), semua kadar memenuhi spesifikasi kecuali kadar 3% yang mendekati batas bawah, menandakan penurunan porositas. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) seluruhnya di bawah batas maksimum 400 kg/mm, menunjukkan fleksibilitas yang memadai. Pengujian IKS menunjukkan bahwa hanya kadar 2% yang mencapai nilai ≥75%, menandakan ketahanan terbaik terhadap kelembaban. Pada pengujian ITS, kadar 2% juga menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi (428 kPa), dan nilai TSR >80%, menandakan ketahanan retak yang baik di kondisi lembab. Uji abrasi memperlihatkan bahwa nilai *ravelling* menurun seiring bertambahnya kadar limbah, dengan nilai abrasi terbaik (0,46 g/cm^2) pada kadar 3%, menandakan daya ikat antar agregat yang lebih kuat. Namun, uji permeabilitas menunjukkan penurunan signifikan seiring meningkatnya kadar limbah, di mana nilai tertinggi 153 cm/det ditemukan pada campuran tanpa limbah, dan terendah 105 cm/det pada kadar 3%.

Penambahan limbah *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan karet ban dalam bekas kendaraan dalam campuran aspal berpori mampu meningkatkan performa campuran aspal porus khususnya pada kadar variasi 2% yang memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan variasi yang lain. Campuran ini juga memenuhi seluruh parameter *Marshall* dengan demikian, komposisi 2% limbah

Polyethylene Terephthalate (PET) dan karet ban dalam bekas kendaraan direkomendasikan sebagai proporsi ideal untuk menghasilkan campuran aspal berpori berkinerja baik dan ramah lingkungan.

Penelitian oleh Angkoso dan Fauziah (2024) bertujuan untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal porus berdasarkan perbedaan spesifikasi gradasi, khususnya mengacu pada AAPA 2004. Variasi kadar serbuk ban karet yang digunakan adalah 0%, 5%, 6%, dan 7% terhadap berat campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran dengan gradasi sesuai spesifikasi AAPA 2004 memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan spesifikasi CalTrans. Hal ini ditinjau dari kemampuannya dalam memenuhi parameter yang dipersyaratkan oleh AAPA 2004, terutama dalam hal stabilitas, rongga udara (*voids*), serta durabilitas campuran, sehingga menghasilkan performa yang lebih optimal dan konsisten pada aspal porus.

2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini

Pada penelitian ini penulis menggunakan *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai subtitusi dalam campuran aspal porus *(Porous Asphalt)* dengan bahan ikat aspal PEN 60/70.Penelitian terdahulu umumnya fokus pada penggunaan limbah PET dalam campuran aspal padat (AC-WC atau AC-BC) maupun aspal porus, dengan pendekatan menggunakan aspal keras atau aspal performa tinggi (PG-76), dan sebagian besar mencampur limbah plastik ke dalam aspal (*wet mix*) atau secara kering (*dry mix*). Perbedaan utama terletak pada fokus terhadap analisis pengaruh substitusi limbah PET secara spesifik terhadap karakteristik campuran aspal porus, menggunakan aspal Pen 60/70 yang merupakan jenis aspal keras, serta hanya menggunakan PET sebagai bahan modifikasi tanpa campuran karet atau plastik lain.

Perbedaan dengan penelitian Fahmy, dkk. (2024) terletak pada jenis campuran yang digunakan. Yang mana menggunakan *Hot Mix Asphalt* (HMA) dengan variasi kadar aspal (3%, 3,5%, dan 4%) serta kadar PET (6%, 7%, dan 8%), sedangkan penelitian saat ini menggunakan campuran aspal porus dengan aspal PEN 60/70 dan PET sebagai substitusi sebagian aspal. Selain itu, menggunakan

kombinasi pengujian lanjutan seperti *Hamburg Wheel Tracking* dan SEM, sementara penelitian saat ini fokus pada pengujian Marshall, ITS, dan permeabilitas. Pada penelitian Gaus dkk. (2022), PET digunakan dalam bentuk serat pada campuran AC-BC, dengan kadar yang jauh lebih rendah yaitu 0,3% dan 0,6%, serta tidak ada variasi kadar aspal. Pengujian terbatas pada *Marshall* saja, tanpa pengujian kelembaban atau permeabilitas yang kurang lebih sama dengan penelitian yang dengan penelitian yang dilakukan Firda dkk. (2022) perbedaannya hanya pda jenis perkerasannya saja.

Perbedaan dengan penelitian Hao, dkk. (2025) adalah dari sisi jenis plastik dan teknologi yang digunakan. Hao menggunakan LDPE, HDPE, dan PP sebagai modifikasi aspal PG-76 dan fokus pada pengujian penuaan jangka panjang (*aging*) dan konstruksi jalan uji coba. Sedangkan pada penelitian ini hanya menggunakan pengujian laboratorium dan menguji satu jenis plastik saja yakni *Polyethylene Perephthalate* (PET).

Perbedaan dengan penelitian Susanto, dkk. (2023) adalah pada komposisi bahan tambah. yang menggabungkan PET dan karet ban bekas dalam berbagai variasi (1%, 2%, dan 3%), sedangkan penelitian saat ini hanya menggunakan PET tanpa kombinasi material lain. Selain itu, Susanto meneliti AC-WC sebagai lapisan aspal porus dengan KAO sebesar 5,5%, sementara penelitian ini menetapkan kadar aspal tetap dan hanya memvariasikan PET sebagai bahan subtitusi.

Sehingga perbedaan penelitian saat ini dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya terletak pada jenis aspal (Pen 60/70), jenis campuran (aspal porus), penggunaan tunggal *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan subtitusi. Hal ini menjadikan penelitian saat ini sebagai kontribusi baru yang memperkaya literatur mengenai pemanfaatan PET dalam perkerasan berpori dan potensi aplikasinya dalam konteks tropis lembab seperti di Indonesia.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Tentang PET

Peneliti	Fahmy dkk (2024)	Gaus dkk (2022)	Firda dkk (2022)	Hasrullahd kk (2023)	Adrian (2025)
Judul	Evaluation Of Asphalt Mixtures Modifed with Polyethylene Terephthalate (PET)	Pengaruh Penggunaan Limbah Polyethylene Terephthalate Terhadap Campuran Aspal Concrete Binder Course	Pengaruh Penambahan Plastik (Polyethylene Terephthalate) pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course) Terhadap Karakteristik Marshall	Pemanfaatan Limbah Plastik dan Fly Ash Pada Campuran Lapisan Perkerasan Jalan	Analisis Pengaruh Subtitusi Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Dengan Bahan Ikat Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus
Jenis Capuran	*HMA*	*AC-BC*	*AC-WC*	*AC-WC*	Aspal Porus (Porous Asphalt)
Jenis Apal	PEN 60/70	PEN 60/70	PEN 60/70	PEN 60/70	PEN 60/70
Bahan Tambah	*Polyethylene Terephthalate (PET)*	*Polyethylene Terephthalate (PET)*	*Polyethylene Terephthalate (PET)*	*Polyethylene Terephthalate (PET)* Dan *Fly Ash* sebagai filler	*Polyethylene Terephthalate (PET)*
Hasil Penelitian	Kombinasi aspal 3% dan PET 8% menghasilkan peningkatan stabilitas hingga 26% dan TSR meningkat 7%. PET memberikan dampak positif terhadap performa campuran.	PET 0,6% dan aspal 6% menunjukkan stabilitas tertinggi. PET meningkatkan kekakuan dan ketahanan terhadap air.	Hanya kadar PET 0% dan 1% yang memenuhi standar. PET >1% menurunkan stabilitas dan MQ. PET 0,5% dianggap optimum.	KAO 6% pada campuran tanpa PET, dengan PET 10% KAO 7,2%, PET 20% KAO 7,9%, PET 30% KAO 9,6%. Peningkatan stabilitas sebesar 12,3% dibandingkan campuran tanpa PET.	. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan PET meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Kadar PET 6% memberikan performa paling optimal dengan peningkatan stabilitas Marshall, MQ, ITS, dan IRS, serta penurunan nilai AFD dan CL.

Sumber: Fahmy dkk (2024), Gaus dkk (2022), Firda dkk (2022), Hasrullah dkk (2023), Adrian (2025).

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu Tentang Aspal Porus

Peneliti	Hao dkk (2025)	Susanto dkk (2023)	Angkoso dan Fauziah (2024)	Hermistanora dkk (2020)	Adrian (2025)
Judul	Long-Term Performance of Porous Asphalt Pavement Incorporating Recycled Plastics	Kinerja Perkerasan Aspal Berpori Dengan Campuran Limbah Plastik dan Karet	Perbandingan Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Australia (AAPA) dan California (CalTrans) dengan Serbuk Parutan Limbah Ban Karet	Pengaruh Penggunaan Styrofoam Terhadap Parameter Kinerja Perkerasan Campuran Aspal Porus	Analisis Pengaruh Subtitusi Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) Dengan Bahan Ikat Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus
Jenis Capuran	Aspal Porus *(Porous Asphalt)*	Aspal Porus *(Porous Asphalt)*	Aspal Porus *(Porous Asphalt)*	Aspal Porus *(Porous Asphalt)*	Aspal Porus *(Porous Asphalt)*
Jenis Apal	PG 76	PEN 60/70	PEN 60/70	PEN 60/70	PEN 60/70
Bahan Tambah	LDPE, PP, dan HDPE	*Polyethylene Terephthalate (PET)* dan Karet	Limbah Ban Karet	*Styrofoam*	*Polyethylene Terephthalate (PET)*
Hasil Penelitian	LDPE 5% hasil terbaik jangka panjang. LDPE 15% meningkatkan kekakuan tapi menurunkan daya tahan aus. PET potensial untuk dikembangkan	Komposisi 2% PET dan karet paling optimal. Meningkatkan stabilitas, ITS, ketahanan abrasi, namun menurunkan permeabilitas.	Penambahan serbuk ban karet sebesar 0%, 5%, 6%, dan 7% campuran dengan gradasi AAPA lebih baik ditinjau dari kemampuannya	Nilai KAO optimum styrofoam diperoleh sebesar 10% pada kadar aspal 5,65% dengan nilai stabilitas 567,57 kg, CL 19,36%, AFD 0,16%, VIM 22,58%, flow 4,17 mm, dan MQ 137,38 kg/mm	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan PET meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Kadar PET 6% memberikan performa paling optimal dengan peningkatan stabilitas Marshall, MQ, ITS, dan IRS, serta penurunan nilai AFD dan CL.

Sumber: Hao dkk (2025), Susanto dkk (2023), Angkoso dan Fauziah (2024), Hermistanora dkk (2020), Adrian (2025)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah struktur konstruksi yang terletak diatas permukaan tanah dengan fungsi untuk menyalurkan beban diatasnya ke tanah dasar secara merata. Tujuan utama dari perkerasan adalah menciptakan lapisan permukaan jalan yang aman, tahan lama, nyaman dan mampu menahan beban lalu lintas serta pemgaruh terhadap cuaca. Perkerasan jalan terdiri dari lapisan lapisan seperti lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah serta tanah dasar yang setiap lapisan memiliki fungsi dan kerakteristik masing masing.

Menurut Mayuni, dkk. (2020) perkerasan jalan juga harus memperhatikan kemampuan drainase, terutama di daerah tropis dengan curah hujan tinggi, sehingga penggunaan perkerasan berpori (aspal porus) menjadi solusi untuk mengurangi genangan dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan. Selain itu, penggunaan material daur ulang seperti *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam desain perkerasan juga mulai diterapkan guna meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proyek konstruksi jalan (Sunarjono, dkk. 2020)

3.2 Jenis Perkerasan Jalan

Secara umum, jenis perkerasan jalan dibedakan menjadi tiga berdasarkan jenis bahan ikat dan karekteristik materialnya yaitu perkerasan lentur *(flexible pavement)*, perkerasan kaku *(rigid pavement),* dan perkerasan komposit *(composite pavement)*.

Menurut Sukirman (1992) jenis konstruksi perkerasan jalan dibedakan berdasarkan bahan pengikatnya:

1. Perkerasan lentur *(flexible pavement)*

Perkerasan lentur *(flexible pavement)*, merupakan jenis perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai material pengikat utama. Struktur perkerasan ini terdiri

atas beberapa lapisan yang bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas serta menyebarkannya ke tanah dasar secara bertahap.

2. Perkerasan kaku *(rigid pavement)*

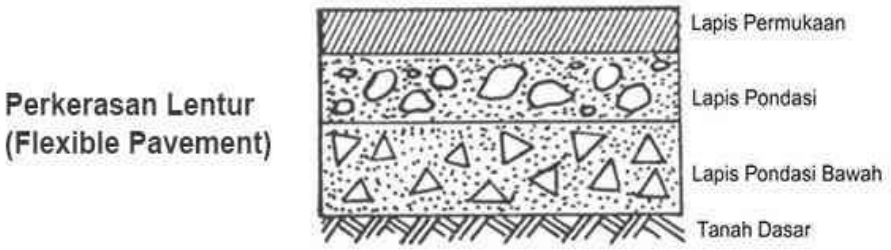
Perkerasan kaku *(rigid pavement)* memanfaatkan semen (portland cement) sebagai bahan pengikat. Pelat beton yang digunakan dapat dibuat dengan atau tanpa tulangan, dan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa adanya lapisan pondasi bawah. Beban kendaraan sebagian besar didistribusikan secara langsung melalui pelat beton tersebut.

3. Perkerasan komposit *(composite pavement)*

Perkerasan komposit *(composite pavement)* merupakan kombinasi antara perkerasan kaku dan lentur. Kombinasi ini dapat berupa perkerasan lentur yang dilapiskan di atas struktur perkerasan kaku, atau sebaliknya, guna menggabungkan keunggulan dari masing-masing jenis perkerasan.

3.3 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur *(flexible pavement)* merupakan jenis struktur jalan yang dibangun secara berlapis, biasanya terdiri atas tiga lapisan utama yaitu lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi (*base course*), dan lapisan pondasi bawah (*subbase course*). Lapisan paling atas umumnya terbuat dari campuran aspal, yang berfungsi menahan beban kendaraan secara langsung. Di bawahnya, terdapat lapisan pondasi yang menggunakan material granular, disusun rapi di atas tanah dasar yang telah dipadatkan sebelumnya. Ketiga lapisan ini memiliki peran penting dalam sistem perkerasan, yaitu menyebarkan beban lalu lintas secara bertahap ke bawah. Dengan sistem ini, beban yang diterima tanah dasar menjadi lebih ringan sehingga mencegah kerusakan dini pada struktur jalan. Pada Gambar 3.1 memperlihatkan susunan lapisan pada konstruksi perkerasan lentur.



Gambar 3.1 Susunan Lapisan Perkerasan Lentur
Sumber: Sukirman, S. (1999)

3.4 Aspal Porus

Aspal porus merupakan salah satu jenis campuran perkerasan lentur yang telah banyak dikembangkan dan digunakan di negara besar karena kemampuannya mengalirkan air melalui pori porinya. Campuran beraspal porus awalnya dikenal sebagai jenis campuran *open-graded friction courses* (OGFCs) yang telah digunakan sejak tahun 1950 di Amerika Serikat untuk meningkatkan kekesatan perkerasan beraspal (Hardiman, 2008)

Menurut Mabui (2022) Aspal porus adalah campuran beraspal yang didesain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain. Sifat porus diperoleh karena campuran aspal porus menggunakan proporsi agregat halus lebih sedikit dibanding campuran perkerasan jenis yang lain. Kandungan rongga pori dalam jumlah yang besar diharapkan menghasilkan kondisi permukaan agak kasar, sehingga akan mempunyai tingkat kekesatan yang tinggi. Selain itu pori yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran.

3.4.1 Spesifikasi Aspal Porus

Untuk menghasilkan campuran yang memenuhi fungsinya, spesifikasi teknis pada aspal porus harus diperhatikan secara ketat. Spesifikasi yang digunakan AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) tahun 2004. Spesifikasi aspal porus menurut AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi Aspal Porus

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Stabilitas *Marshall* (kg)	Min. 500
2	Kelelehan *Marshall* (mm)	2 - 6
3	Kekakuan *Marshall* (MQ kg/mm)	Maks. 400
4	Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM %)	18 - 25
5	Uji *Asphalt Flow Down* (%)	Maks 0,3
6	Uji *Cantabro Loss* (%)	Maks. 35
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Sumber: AAPA (2004)

3.4.2 Gradasi Aspal Porus

Gradasi agregat dalam campuran aspal porus merupakan faktor utama yang menentukan tingkat porositas, kemampuan drainase, dan kinerja struktural dari perkerasan. Gradasi aspal porus menurut AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Gradasi Aspal Porus

Ukuran Saringan		% Berat Lolos	
mm	in	Ag. maks 10 mm	Ag. maks 14 mm
19,00	3/4	100	100
12,70	1/2	100	85 - 100
9,53	3/8	85 - 100	45 - 70
4,76	No. 4	20 - 45	10 - 25
2,38	No. 8	10 - 20	7 - 15
1,18	No. 16	6 - 14	6 - 12
0,595	No. 30	5 - 10	5 - 10
0,297	No. 50	4 - 8	4 - 8
0,149	No. 100	3 – 7	3 - 7

Lanjutan Tabel 3.2 Gradasi Aspal Porus

0,074	No. 200	2 – 5	2 – 5
Total		100	100
Kadar Aspal		5,0 – 6,5	4,5 – 6,0

Sumber: AAPA (2004)

3.5 Penentuan KAO Campuran Aspal Porus

Penentuan kadar aspal digunakan spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA). Dengan mensyaratkan tiga parameter yaitu VITM, *Asphalt Flow Down*, dan *Cantabro loss*. Spesifikasi dapat di lihat pada Tabel 3.3 berikut

Tabel 3.3 Spesifikasi Penentuan KAO Aspal Porus

No	Spesifikasi	Syarat
1	*Cantabro loss* (%)	< 35
2	*Asphalt flow down* (%)	< 0,3
3	Kadar rongga (%)	18 - 25

Sumber: AAPA (2004)

3.6 Bahan Penyusun Perkerasan

Dalam konstruksi perkerasan lentur bahan penyusun yang digunakan terdiri dari agregat yang berupa agregat kasar (kerikil, batu pecah), agregat halus (pasir abu batu), bahan pengisi (*filler)* dan aspal sebagai bahan pengikat. Aturan Spesifikasi mengenai bahan penyusun campuran mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang diterbitkan oleh DirektoraI Jendral Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum.

3.6.1 Agregat

Agregat merupakan komponen utama dalam campuran beraspal yang berfungsi sebagai peyusun struktural untuk menyalurkan beban ke lapisan dibawahnya. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 agregat yang digunakan dalam perkerasan lentur harus memenuhi standar mutu tertentu. Agregat dibedakan bedasarkan ukuran butiran

1. Agregat Kasar

   Agregat kasar adalah material yang tertahan pada saringan yang berukuran No. 4 (4,75 mm) biasanya berupa kerikil, batu pecah atau bahan serupa. Ketentuan agregat kasar menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut

Tabel 3.4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
		Magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2439:2008	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	ASTM D4791 – 10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200			SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Bina Marga Revisi 2 (2018)

2. Agregat Halus

   Agregat halus adalah material yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm) biasanya terdiri dari pasir atau hasil dari pengayakan batu pecah. Ketentuan agregat halus menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut

Tabel 3.5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141- 1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 10%

Sumber: Bina Marga Revisi 2 (2018)

3. Bahan Pengisi (*filler)*

   Bahan pengisi (*filler*) berupa debu atau kapur yang lolos ayakan No. 200 (75 micron) sesuai dengan SNI ASTM C136:2012.

3.6.2 Aspal

Aspal adalah bahan ikat yang umum digunakan dalam perkerasan lentur yang berfungsi untuk mengikat agregat. Aspal dideskripsikan sebagai material yang bewarna hitam atau coklat tua, yang sangat sensitif terhadap tempratur, pada tempratur ruang berbentuk padat dan jika di panaskan pada tempratur tertentu material aspal akan berubah bentuk menjadi lunak atau cair. Pada saat lunak material memiliki kemampuan dalam membungkus aspal atau bisa digunakan dalam penyemprotan pada perkerasan.

Menurut Sukirman (1992) Menjelaskan sebagai salah satu material yang digunakan dalam konstruksi perkerasan, aspal termasuk kategori komponen kecil yang umumnya hanya 4 – 10% terhadap berat atau hanya sekitar 10 – 15% terhadap volume dan merupakan salah satu material penyusun perkerasan yang relatif mahal. Ketentuan aspal PEN 60/70 menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut

Tabel 3.6 Persyaratan Aspal Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Nilai Persyaratan
1	Berat Jenis	SNI-24441:2011	≥ 1,0
2	Penetrasi Pada 25°C (0,1 mm)	SNI-2456:2011	60 - 70
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI-2432:2011	≥ 100
4	Titik Nyala (°C)	SNI-2433:2011	≥ 232
5	Titik lembek (°C)	SNI-2434:2011	≥ 48
6	Kelarutan dalam TCE (%)	AASHTO T44-14	≥ 99

Sumber: Bina Marga Revisi 2 (2018)

Tabel 3.7 Persyaratan Aspal Modifikasi Polimer

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Nilai Persyaratan
1	Berat Jenis	SNI-24441:2011	≥ 1,0
2	Penetrasi Pada 25°C (0,1 mm)	SNI-2456:2011	50 - 70
3	Titik Nyala (°C)	SNI-2433:2011	≥ 232
4	Titik lembek (°C)	SNI-2434:2011	≥ 56

Sumber: BSN SNI 6749 (2008)

3.6.3 Bahan Tambah Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate* (*PET*)

Perkembangan material dan teknologi dalam konstruksi jalan semakin berkembang, inovasi penerapan material pintar, teknologi *self-healing*, serta pemanfaatan *nanomaterial* dan polimer. Arah perkembangan perkerasan jalan di masa depan akan mengutamakan peningkatan mutu, keberlanjutan, dan keselamatan jalan, melalui integrasi teknologi modern dan bahan inovatif (Nawir dan Mansur, 2025)

Dalam SNI 6749, aspal polimer diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu plastomer dan elastomer, yang masing-masing memiliki karakteristik dan fungsi berbeda dalam meningkatkan kinerja aspal. Plastomer merupakan jenis polimer yang bersifat kaku dan meningkatkan kekuatan serta ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*). Penambahan plastomer menyebabkan aspal menjadi lebih keras dan stabil pada suhu tinggi, namun cenderung mengurangi sifat

elastisitasnya. Contoh plastomer adalah *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), dan termasuk *Polyethylene Terephthalate* (PET).

Dalam penelitian Xu dkk. (2021) dijelaskan mengenai penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah pada campuran aspal, salah satunya *Polyethylene Terephthalate* (PET). Ketentuan yang digunakan pada penelitian tersebut dijadikan sebagai acuan awal dalam penelitian ini untuk memberikan dasar dalam penggunaan PET sebagai bahan tambah. Spesifikasi PET dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Spesifikasi *Polyethylene Terephthalate* (PET)

No	Spesifikasi	Nilai
1	Kadar PET Optimum (%)	2 - 8
2	Titik Leleh (^{o}C)	260
3	Suhu Pencampuran (^{o}C)	180
4	Waktu Pencampuran (jam)	1
5	Ukuran (mm)	0,45 – 0,5

Sumber: Xu dkk. (2021)

Namun demikian, acuan tersebut selanjutnya dibandingkan dengan beberapa penelitian lain yang juga membahas penggunaan PET pada campuran aspal, sehingga diperoleh pertimbangan yang lebih komprehensif dalam menetapkan metode penelitian yang digunakan.

Menurut Mabui (2019) Pemanfaatan bahan tambah dalam campuran beraspal merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan performa campuran aspal panas. Penggunaan bahan tambah dipilih tidak hanya untuk memperbaiki stabilitas dan daya tahan campuran terhadap beban berulang, tetapi juga untuk mengoptimalkan kinerja struktural lapisan perkerasan. Pada penelitian ini menggunakan plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah.

Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan resin polimer termoplast yang merupakan jenis plastik daur ulang yang diproduksi ulang dengan proses pemanasan ulang. Sifat khusus polimer termoplastik yaitu jika dipanaskan akan melunak, mengeras jika didinginkan, mudah untuk direngangkan, *fleksibel,*

titik leleh rendah, mudah larut dalam pelarut sesuai dengan tingkat kecocokan jenis plastiknya. PET dihasilkan melalui reaksi polimerasi kondensasi dari monomernya. Reaksi ini terjadi sesaat setelah esterifikasi/transesterifikasinya dengan etilen glikol sebagai produk samping dan etilen glikol ini biasanya didaur ulang. Spesifikasi plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dengan berat jenis *(density)* PET berkisar antara 1,34 hingga 1,39 g/cm³, menjadikannya cukup padat dibandingkan jenis plastik lainnya. PET memiliki titik leleh (*melting point*) yang relatif tinggi, yaitu sekitar 250°C hingga 260°C.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Arif dkk. (2023), hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik PET pada campuran aspal porus mampu meningkatkan kinerja perkerasan jalan. Peningkatan kadar PET terbukti memberikan dampak positif terhadap beberapa parameter, seperti stabilitas, kepadatan, *Marshall Quotient* (MQ), serta *Void Filled with Asphalt* (VFA). Hal ini menandakan bahwa campuran aspal porus dengan tambahan PET lebih tahan terhadap kerusakan akibat beban lalu lintas. Selain itu, nilai *Cantabro Loss* mengalami penurunan, yang menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap disintegrasi semakin baik. Penambahan kadar PET hingga 7,5% juga terbukti dapat menurunkan nilai *flow*, sehingga campuran memiliki kelenturan yang optimal. Namun demikian, kadar PET yang disarankan tetap berada di bawah 5%, karena pada penelitian ini nilai penetrasi dan daktilitas tidak memenuhi spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 apabila kadar PET melebihi batas tersebut.

Sehingga pada penelitian ini persentase penambahan limbah PET terhadap berat aspal dilakukan dalam beberapa variasi, yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Variasi 0% digunakan sebagai kontrol untuk melihat karakteristik campuran aspal tanpa bahan tambah, variasi 2–4% diprediksi sebagai kadar optimal yang mampu memberikan peningkatan performa sekaligus tetap sesuai dengan spesifikasi teknis, sedangkan variasi 6–8% digunakan sebagai batas atas untuk menilai sejauh mana penambahan PET masih dapat diterapkan sebelum menimbulkan penurunan sifat-sifat penting seperti penetrasi dan daktilitas.

Menurut Zoorob dan Suparma. (2000) menejelaskan bahwa terdapat dua metode pencampuran plastik pada campuran beraspal yaitu metode pancampuran basah (*wet process*) dan metode pencampuran kering (*dry process*).

1. Metode Pencampuran Basah (*wet process*), dimana plastik dicampur ke aspal panas kemudian diaduk dengan kecepatan yang tinggi hingga mencapai titik homogen
2. Metode Pencampuran Kering (*dry process*), dimana plastik dicampur kedalam agregat yang telah dipanaskan pada tempraturnya kemudian aspal panas ditambahkan.

Pada penelitian ini menggunakan metode pencampuran basah dengan karakteristik bahan tambah *Polyethylene Terephthalate* (PET) berupa potongan atau partikel hasil gilingan/grinding dengan ukuran 0,45 – 0,5 mm atau lolos saringan No. 30 dan tertahan pada saringan No.100 yang selanjutnya ditambahkan kedalam aspal sesuai dengan variasi persentase panambahan.

3.7 Pengujian Karakteristik Pengujian *Marshall*

Metode *Marshall* dikembangkan oleh Bruce G. Marshall dari Mississippi Highway Department selama periode 1930 - 1950, untuk merespons beban ekstrim lalu lintas militer dan sipil (Siddiqui, dkk. 1988). Saat ini metode *Marshall* merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam desain dan evaluasi perkerasan, dan telah banyak mengalami perubahan dan penyempurnaan seiring waktu.

Pengujian *Marshall* merupakan metode desain dan evaluasi terhadap campuran aspal panas yang bertujuan untuk mengetahui stabilitas (*stability*), kelelehan (*flow*), serta karakteristik volumetrik seperti kepadatan (*densit*y) dan tingkat porositas dalam campuran. Pengujian ini memberikan gambaran tentang kemampuan campuran dalam menahan beban lalu lintas dan mempertahankan bentuk struktur. Beberapa parameter utama yang dianalisis dalam uji *Marshall* meliputi stabiltas, (*stability*), kelelehan (*flow*), MQ (*Marshall Quotient*), VITM (*Void in the Total Mix*), VFWA (*Void Filler With Asphalt*), VMA (*Void in Mineral*

Aggregate), dan kepadatan (*density*). Pada penelitian ini menggunakan spesifikasi campuran aspal porus *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) 2004.

3.7.1 *Void in Total Mix* (VITM)

Void in Total Mix (VITM) merupakan persentase rongga udara yang terdapat di dalam campuran aspal dan agregat setelah proses pemadatan. Pada campuran aspal porus, nilai VITM menjadi parameter yang sangat penting karena berkaitan langsung dengan fungsi drainase dan kinerja struktural campuran. Jika nilai VITM terlalu rendah, maka rongga udara tidak mencukupi untuk mangalirkan aliran air, campuran dapat kehilangan stabilitas akibat deformasi yang berlebihan. Sebaliknya, jika nilai VITM terlalu tinggi, campuran menjadi terlalu berpori, yang dapat mempercepat oksidasi aspal akibat paparan udara serta menurunkan daya tahan terhadap beban lalu lintas, sehingga meningkatkan risiko deformasi. NiIai VITM dihitung dengan Persamaan 3.1 dan 3.2 berikut

$$n = 100 - (100 - \frac{g}{h}) \tag{3.1}$$

$$h = 100 - \left(\frac{100}{\frac{\%agregat}{BJ\ agregat} + \frac{\%aspal}{BJ\ aspal}}\right) \tag{3.2}$$

keterangan:

n = nilai VITM,

g = berat isi sampel (gr/cc), dan

h = berat maksimum teoritis campuran (gr/cc).

3.7.2 *Void in Mineral* Agregate (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) merupakan persentase rongga yang terbentuk di antara butiran agregat dalam campuran aspal setelah proses pemadatan. VMA mengambarkan susunan agregat yang berfungsi untuk menampung aspal pengikat sekaligus mempertahankan rongga udara. Yang berarti, VMA adalah parameter penting dalam desain campuran beraspal karena menentukan seberapa banyak aspal yang dibutuhkan untuk melapisi agregat tanpa mengisi seluruh ruang pori. NiIai VMA dihitung dengan Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut.

$$l = 100 - j \tag{3.3}$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{Bj\ agregat} \tag{3.4}$$

keterangan:

l = nilai VMA (%),

b = persentase aspal terhadap campuran, dan

g = berat isi sample (gr/cc).

3.7.3 *Void Filled with Asphalt* (VFWA)

Void Filled with Asphalt (VFWA) merupakan persentase rongga dalam campuran agregat yang telah diisi oleh aspal. Nilai VFWA memberikan gambaran seberapa besar volume rongga agregat (VMA) yang telah terisi oleh aspal pengikat. Secara umum, semakin tinggi kadar aspal, maka nilai VFWA akan meningkat, hingga mencapai kadar aspal optimum (KAO). Setelah melewati kadar optimum tersebut, penambahan aspal justru dapat menyebabkan terjadinya bleeding atau kelebihan aspal di permukaan. NiIai VFWA dihitung dengan Persamaan 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 berikut

$$m = 100 \times \frac{i}{l} \tag{3.5}$$

$$i = b \times \frac{g}{Bj\ aspal} \tag{3.6}$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{Bj\ agregat} \tag{3.7}$$

$$l = 100 - j \tag{3.8}$$

keterangan:

m = nilai VFWA (%),

b = persentase aspal terhadap campuran, dan

g = berat isi sample (gr/cc).

3.7.4 Kelelehan *(Flow)*

Kelelehan (*flow*) gambaran sejauh mana deformasi yang dialami benda uji akibat pembebanan hingga mencapai keruntuhan, yang diukur dalam satuan

milimeter atau 0,01 inci. Campuran aspal yang menunjukkan nilai flow tinggi namun disertai dengan nilai stabilitas yang rendah biasanya memiliki sifat plastis yang berlebihan dan kurang mampu menahan beban. Begitupun sebaliknya, jika nilai flow terlalu rendah, campuran cenderung menjadi kaku dan rapuh, sehingga lebih mudah mengalami retak (*cracking*) akibat pembebanan.

3.7.5 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) merupakan ukuran seberapa padat suatu campuran beraspal setelah proses pemadatan. Semakin tinggi nilai density, maka menunjukkan bahwa susunan partikel dalam campuran semakin padat dan efisien dalam menempati volume yang tersedia, umumnya peningkatan kadar aspal dalam campuran akan meningkatkan nilai *density*. NiIai *density* dihitung dengan Persamaan 3.9 dan 3.10 berikut.

$$g = \frac{c}{f} \tag{3.9}$$

$$f = d - e \tag{3.10}$$

keterangan:

g = nilai *density* (gr/cc),

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

d = berat benda uji dalam keadaan jenuh/ ssd (gr),

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume/isi (cc).

3.7.6 Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas hingga mencapai titik deformasi plastis (*permanent deformation*). Nilai stabilitas sangat dipengaruhi oleh kadar aspal, di mana peningkatan kadar aspal akan meningkatkan stabilitas hingga mencapai titik optimum. Setelah melewati kadar optimum, nilai stabilitas justru akan menurun karena campuran menjadi terlalu plastis dan kehilangan kekakuannya. NiIai stabiIitas dihitung dengan Persamaan 3.11 berikut.

$$q = p \times 0{,}4536 \tag{3.11}$$

keterangan

q = stabilitas (kg),

p = pembacaan arloji stabilitas × kalibrasi alat,

s = koreksi tebal benda uji, dan

0,4536 = konversi satuan *lb* ke kg.

3.7.7 *Marshall Quontient* (MQ)

Marshall quotient merupakan perbandingan antara stability dengan nilai flow. MQ adaIah parameter yang digunakan menujukan gambaran niIai fIeksibilitas perkerasan berdasarkan perbandingan antara niIai stabiIitas (*stability*) dengan keIeIehan (flow). NiIai MQ menunjukan yang keIenturan dari campuran, semakin keciI nilai MQ maka semakin Ientur campuran tersebut, sebaIiknya apabiIa nilai MQ semakin besar maka semakin kaku campuran tersebut. NiIai MQ dihitung dengan Persamaan 3.12 berikut

$$MQ = \frac{q}{r} \tag{3.12}$$

keterangan

MQ = nilai *Marshall* (kg/mm),

q = nilai stabilitas (kg),

r = nilai *flow* (mm),

d = berat benda uji dalam keadaan jenuh/ ssd (gr),

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume/isi (cc).

3.8 *Cantabro Loss* (CL)

Cantabro Loss (CL) merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan campuran aspal terhadap pelepasan butir, terutama untuk campuran aspal

porus yang memiliki kadar rongga udara tinggi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin Los Angeles (*Los Angeles Abrasion Machine*), dimana benda uji dibiarkan berputar di dalam drum tanpa bola baja untuk mengukur persentase kehilangan berat dari benda uji setelah melalui proses pengujian abrasi. Semakin besar kehilangan berat, maka semakin rendah ketahanannya. NiIai CL dihitung dengan mengacu pada ASTM C-131 pada Persamaan 3.17 berikut.

$$L = \frac{Mo\text{-}Mi}{Mo} \times 100\% \tag{3.13}$$

keterangan:

L = persentase kehilangan berat (%), dan

Mo = berat sebelum diabrasi (gr).

3.9 *Asphalt Flow Down* (AFD)

Asphalt Flow Down (AFD) merupakan pengujian yang dilakukan untuk menentukan kadar aspal maksimum yang dapat tercampur secara homogen dengan agregat tanpa menyebabkan segregasi. Pengujian ini penting pada campuran aspal berpori (*porous asphalt*), di mana aspal cenderung mengalir ke bawah atau terpisah dari agregat bisa terjadi selama proses pencampuran dan pemadatan. NiIai *AFD* dihitung dengan mengacu pada AASHTO T 305 pada Persamaan 3.13 berikut.

$$AFD = \frac{(m3 - m1)}{(m2 - m1)} \times 100\% \tag{3.14}$$

keterangan:

AFD = nilai *ashpalt flow down* (%),

m1 = berat catakan tanpa nanpan (gr),

m2 = berat cetakan dengan campuran aspal (gr), dan

m3 = berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat pada alumunium foil (gr).

3.10 *Indirect Tensile Strenght* (ITS)

Indirect Tensile Strenght (ITS) merupakan metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik tidak langsung dari campuran aspal. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk menilai ketahanan campuran terhadap retak akibat tegangan tarik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder yang diberi beban pada sisi vertikal sepanjang diameter benda uji. Gaya pembebanan ini menghasilkan tegangan tarik pada bidang horizontal di tengah benda uji, yang pada akhirnya menyebabkan benda uji mengalami keretakan. NiIai ITS dihitung dengan Persamaan 3.15 berikut.

$$ITS = \frac{Pruntuh}{h} \times Ao \tag{3.15}$$

keterangan:

ITS = nilai *Indirect Tensile Strength* (kg/cm2),

$Pruntuh$ = beban puncak (kg),

h = tinggi sampel (cm),

Ao = konstan (tabel Ao),

$h1$ = tinggi batas air paling atas pada tabung (cm), dan

$h2$ = tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm).

3.11 *Index of Retained Strenght* (IRS)

Index of Retained Strength (IRS) merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kekuatan yang masih dimiliki oleh campuran aspal setelah mengalami proses perendaman. Nilai IRS merepresentasikan stabilitas sisa Marshall dan berfungsi sebagai indikator terhadap ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat pengaruh air (*moisture damage*).

Pengujian IRS dilakukan melalui dua tahap kondisi perendaman, yaitu Perendaman standar, dimana benda uji direndam dalam water bath bersuhu 60 °C selama 30 menit, kemudian diuji nilai stabilitasnya selanjutnya perendaman jenuh dimana benda uji direndam pada suhu yang sama selama 24 jam. Nilai IRS dihitung

dengan membandingkan antara stabilitas setelah perendaman 24 jam dengan stabilitas standar. Semakin tinggi nilai IRS, maka semakin baik ketahanan campuran. NiIai IRS dihitung dengan Persamaan 3.14 berikut.

$$IRS = \frac{S2}{S1} \times 100\% \tag{3.16}$$

keterangan:

IRS = nilai i*ndex of Retained Strenght,*

S1 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman 30 menit (kg), dan

S2 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam (kg).

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan komponen penting dalam menentukan keberhasilan suatu penelitian. Kualitas dan validitas hasil penelitian sangat bergantung pada ketepatan dalam pemilihan metode yang digunakan. Dalam studi ini, pendekatan yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental, yang diaplikasikan baik dalam proses pengumpulan maupun analisis data. Pendekatan eksperimental ini merujuk pada suatu proses penelitian yang dilakukan secara objektif, dan sistematis dengan tujuan utama untuk menganalisis hubungan sebab akibat (*cause and effect relationship*) antara variabel yang diteliti. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang diuji adalah persentase pemanfaatan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) sementara variabel terikatnya mencakup karakteristik *Marshall, Cantabro Loss* (CL), *Asphalt Flow Down* (AFD*), Indirect Tensile Strength* (ITS) serta *Index of Retained Strength* (IRS). .Penelitian ini menggunakan Pedoman Umum Bina Marga tahun 2018 dan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) tahun 2004 sebagai acuan pembanding dalam mengevaluasi hasil pengujian laboratorium.

4.2 Metode Penentuan Sampel

Sampel dalam penelitian ini merupakan representasi dari bahan-bahan yang digunakan untuk mengetahui karakteristik teknis campuran yang dimodifikasi. Jenis campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal porus yang memiliki rongga udara tinggi dan berfungsi untuk mendukung sistem drainase permukaan jalan. Aspal PEN 60/70 produksi Pertamina dan agregat, diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya, digunakan sebagai bahan penyusun campuran. Campuran ini dimodifikasi dengan penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah. Limbah PET yang digunakan berasal

dari berbagai Tempat Pembuangan Sampah (TPS) di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Limbah ini berupa botol plastik yang diproses melalui tahap pembersihan, pengeringan, penghancuran, dan kemudian dilelehkan atau dicampurkan secara langsung ke dalam aspal panas sebelum pencampuran dengan agregat.

4.3 Metode Pengambilan Data

Proses pengambilan data dalam penelitian ini diawali dengan pengelompokan benda uji menjadi dua kategori utama. Kategori pertama ditujukan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), sementara kategori kedua digunakan untuk menguji variasi persentase limbah plastik PET sebagai bahan tambah dalam campuran aspal porus. Pengujian dilakukan dengan metode *Standart (MS)*, yang digunakan untuk mengevaluasi parameter karakteristik volumetrik dan kekuatan struktural campuran aspal. Pengujian karakteristik volumetrik meliputi *Void in the Mix* (VITM), *Void Filled with Asphalt* (VFWA), *dan Void in Mineral Aggregate* (VMA). Parameter untuk menilai kinerja campuran dari kepadatan, daya ikat aspal terhadap agregat, dan kemampuan drainase dalam campuran berpori. Selanjutnya, pengujian dilakukan terhadap parameter kekuatan struktural campuran aspal, seperti *Marshall Quotient* (MQ), stabilitas *Standart (MS)*,, nilai *flow*, *Asphalt Flow Down* (AFD*), Index of Retained Strength* (IRS)*, Indirect Tensile Strength* (ITS), serta *Cantrabro Loss* (CL), yang memberikan gambaran kekuatan srtuktural campuran.

4.4 Tahapan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini mencakup pengujian terhadap material agregat dan aspal, perancangan komposisi campuran, serta proses pembuatan dan penentuan proporsi campuran pada sampel benda uji. Seluruh pengujian material dilakukan berdasarkan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018.

4.4.1 Pemeriksaan Agregat

Agregat merupakan komponen utama dalam lapisan perkerasan jalan karena berperan signifikan dalam menentukan daya dukung, mutu struktural, serta keawetan perkerasan. Untuk mengevaluasi kelayakan agregat yang digunakan, dilakukan serangkaian pengujian dengan mengacu pada standar teknis nasional, sebagai berikut:

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

   Pengujian ini dilakukan terhadap agregat kasar dan agregat halus berdasarkan SNI 1969:2008 (untuk agregat kasar) dan SNI 1970:2008 (untuk agregat halus). Tujuannya adalah untuk mengetahui nilai berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry/SSD*), berat jenis semu (*apparent*), serta tingkat penyerapan air oleh agregat.
2. Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal

   Mengacu pada SNI 06-2439-1991, pengujian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana kemampuan agregat dalam mempertahankan ikatan dengan aspal. Parameter ini penting untuk memastikan stabilitas campuran terhadap pengaruh kelembaban dan beban lalu lintas.
3. Pengujian Keausan Agregat (*Los Angeles Abrasion Test*)

   Mengacu pada SNI 2417:2008, pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat ketahanan agregat kasar terhadap abrasi atau keausan akibat gesekan. Pengujian menggunakan alat *Los Angeles Abrasion Machine* untuk mensimulasikan kondisi keausan di lapangan.
4. Pengujian *Sand Equivalent*

   Mengacu pada SNI 03-4428-1997, pengujian ini digunakan untuk menentukan kandungan partikel halus seperti debu, lumpur, atau material berlempung dalam agregat halus. Nilai sand equivalent yang tinggi menunjukkan kualitas agregat yang lebih bersih dan stabil secara teknis.

4.4.2 Pemeriksaan Aspal

Pemeriksaan aspal bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan kimia dari aspal yang digunakan, sehingga dapat dipastikan kesesuaiannya sebagai bahan pengikat dalam campuran perkerasan jalan. Pemeriksaan ini mengacu pada standar

pengujian yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Adapun beberapa parameter pengujian aspal yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Pengujian Berat Jenis Aspal

   Pengujian ini merujuk pada SNI 06-2441-1991, dengan tujuan untuk menentukan berat jenis aspal, yaitu perbandingan antara massa jenis aspal terhadap massa jenis air suling pada volume dan suhu yang sama. Nilai berat jenis penting untuk menentukan proporsi campuran dalam perencanaan desain.

2. Pengujian Penetrasi Aspal

   Dilakukan berdasarkan SNI 06-2456-1991, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat konsistensi atau kekerasan aspal. Metode ini dilakukan dengan menekan jarum standar ke dalam sampel aspal menggunakan beban dan waktu tertentu pada suhu 25°C, lalu mengukur kedalaman penetrasinya.

3. Pengujian Daktilitas Aspal

   Sesuai dengan SNI 06-2432-1991, pengujian daktilitas dilakukan untuk menilai sifat kohesif aspal. Hal ini diukur dari seberapa jauh dua ujung sampel aspal dapat ditarik hingga terputus pada suhu dan kecepatan penarikan tertentu. Nilai ini mencerminkan fleksibilitas aspal terhadap perubahan bentuk.

4. Pengujian Titik Lembek Aspal

   Berdasarkan SNI 06-2434-1991, pengujian ini bertujuan untuk menentukan suhu saat aspal mulai berubah dari fase padat ke fase semi-cair. Nilai titik lembek memberikan indikasi terhadap ketahanan aspal terhadap suhu tinggi saat di lapangan.

5. Pengujian Kelarutan Aspal dalam Karbon Tetra Klorida (CCl_4)

   Pengujian ini mengacu pada SNI 06-2438-2015, dan dilakukan untuk mengetahui persentase fraksi aspal yang larut dalam pelarut organik karbon tetraklorida. Nilai kelarutan yang tinggi menunjukkan tingkat kemurnian aspal yang baik serta rendahnya kandungan bahan non-bitumen.

6. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 06-2441-1991 untuk menentukan suhu minimum di mana uap aspal dapat menyala (titik nyala) dan terbakar secara berkelanjutan (titik bakar).

4.4.3 Persiapan Peralatan

Penelitian ini menggunakan peralatan yang tersedia di Laboratorium Perkerasan Jalan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Peralatan yang digunakan mencakup alat uji untuk pengujian aspal, pengujian agregat, *Standart (MS), Asphalt Flow Down* (AFD)*, Index of Retained Strength* (IRS)*, Indirect Tensile Strength* (ITS), serta *Cantabro Loss* (CL).

1. Peralatan yang digunakan untuk pengujian sifat fisik agregat antara lain mencakup mesin *Los Angeles* untuk uji keausan, saringan standar untuk analisis gradasi, serta tabung *Sand Equivalent* yang digunakan untuk mengukur kadar partikel halus dan material berlempung dalam agregat halus.
2. Peralatan yang digunakan untuk pengujian fisik aspal meliputi alat uji penetrasi, alat daktilitas, perangkat uji kelarutan, alat uji titik lembek, serta alat untuk pengujian titik nyala dan titik bakar aspal, yang keseluruhannya berfungsi untuk mengevaluasi sifat dasar dan kualitas aspal sesuai parameter standar teknis.
3. Peralatan uji *Marshall Standard*, terdiri dari proving ring berkapasitas 2.500 kg (5.000 lb) dengan ketelitian 12,5 kg (25 lb), arloji tekan berketelitian 0,0025 cm (0,0001 inci), arloji *flow* dengan ketelitian 0,25 mm (0,01 inci), alat pemadat *(compactor)* berbobot 10 lb (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm), oven, kompor pemanas, cetakan silinder *(mold),* dan bak perendam *(waterbath)* dengan pengatur suhu.
4. Peralatan uji *Asphalt Flow Down* (AFD) terdiri dari nampan logam berukuran 20 × 40 cm, aluminium foil, timbangan digital dengan ketelitian 0,001 gram, oven laboratorium, kompor pemanas, penggorengan logam, sendok pengaduk, sarung tangan tahan panas, dan kain lap.
5. Peralatan uji *Indirect of Retained Strength* (IRS) terdiri dari *proving ring* berkapasitas 2.500 kg (5.000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound),

arloji pengukur stabilitas, arloji flow dengan ketelitian 0,25 mm, penumbuk *(compactor)* berbobot 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm), kompor pemanas, oven, cetakan silinder berdiameter 10 cm, spatula, dan bak perendam *(waterbath).*

6. Peralatan uji *Indirect Tensile Strength (ITS)* terdiri dari alat tekan dengan strip loading selebar 0,5 inci, dial gauge berketelitian 0,25 mm, penumbuk (*compactor*) berbobot 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm), kompor pemanas, oven, cetakan silinder diameter 10 cm, spatula, dan bak perendam *(water bath).*
7. Peralatan uji *Cantabro Loss (CL)* terdiri dari mesin *Los Angeles* tanpa bola baja dan timbangan digital dengan ketelitian 0,001 gram, sedangkan pembuatan benda uji menggunakan peralatan yang sama seperti pada pembuatan benda uji *Marshall.*

4.4.4 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dalam penelitian ini mengacu pada pedoman dari *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA, 2004). Bahan utama dalam campuran terdiri atas agregat kasar, agregat halus, *filler,* dan aspal, yang seluruhnya telah melalui tahap pengujian terlebih dahulu sebelum digunakan dalam proses pencampuran. Pengujian material bertujuan untuk memastikan bahwa sifat fisik komponen telah memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan. Setelah seluruh material, khususnya agregat dan aspal, dinyatakan lolos uji, proses selanjutnya adalah melakukan penyaringan agregat sesuai dengan gradasi yang telah direncanakan dalam desain campuran.

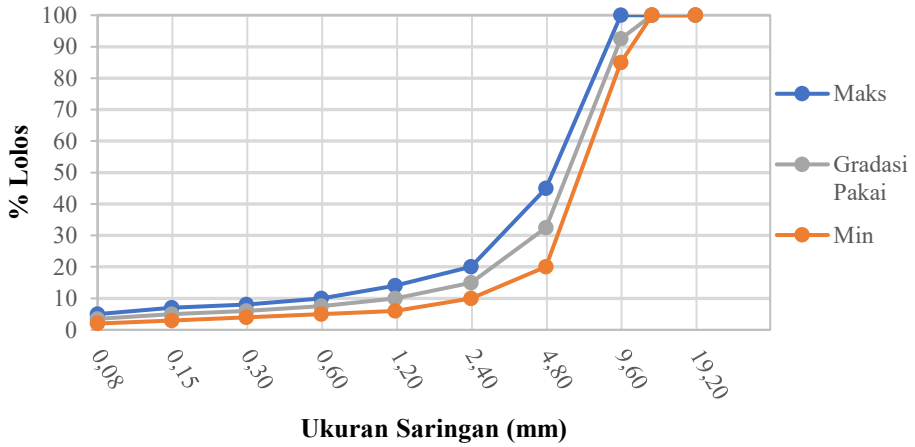
Tabel 4.1 Gradasi Rencana Aspal Porus Spesifikasi AAPA 2004

Ukuran Saringan		**Spesifikasi 10 mm**		**Gradasi Rencana**	
mm	in	Min	Maks	%Berat Lolos	%Berat Tertahan
19,00	3/4	100	100	100	0,00

Lanjutan Tabel 4.1 Gradasi Rencana Aspal Porus Spesifikasi AAPA 2004

12,70	1/2	100	100	100	0,00
9,53	3/8	85	100	92,50	7,50
4,76	No. 4	20	45	32,50	60,00
2,38	No. 8	10	20	15,00	17,50
1,18	No. 16	6	14	10,00	5,00
0,60	No. 30	5	10	7,50	2,50
0,30	No. 50	4	8	6,00	1,50
0,15	No. 100	3	7	5,00	1,00
0,075	No. 200	2	5	3,50	1,50

Gradasi agregat yang digunakan dalam campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* pada penelitian ini mengacu pada gradasi porus yang direkomendasikan oleh AAPA (2004). Grafik gradasi rencana tersebut dapat di lihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus Spesifikasi AAPA

Berdasarkan pedoman dari *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA, 2004), untuk campuran dengan agregat berukuran maksimum 10 mm KAO berada dalam kisaran 5% hingga 6,5% terhadap berat total campuran. Dalam mencari kadar aspal optimum rencana campuran aspal porus, dapat diperhitungkan dengan Persamaan 3.18 berikut ini

Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (%Filler) + Konstanta (3.18)

Keterangan:

Pb = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 4,

FA = agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200,

Filler = agregat halus lolos saringan No. 200, dan

Kostanta = 1 sampai 2.

Dalam mencari kadar aspal optimum rencana campuran aspal porus, dapat diperhitungkan dengan Persamaan 3.18 dengan perhitungan sebagai berikut

Pb = 0,035 (67,5) + 0,045 (29) + 0,18 (3,5) + 1

Pb = 5,30 %

Dari perhitungan diatas didapatkan kadar aspal perkiraan dengan pembulatan menjadi 5,5. Sehingga pada penelitian ini digunakan variasi kadar aspal sebesar 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. terhadap berat total campuran.

Tabel 4.2 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 4,5%

Ukuran Saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen %		Total Campuran	Berat (gr)
			Min	Max	Lolos	Tertahan		
3/4 "	19	mm	100	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2 "	12,5	mm	100	100	100	0,00	0,00	0,00
3/8 "	9,5	mm	85	100	92,50	7,50	7,50	85,95
No.4	4,76	mm	20	45	32,50	60,00	60,00	687,60
No. 8	2,36	mm	10	20	15,00	17,50	17,50	200,55
No. 16	1,18	mm	6	14	10,00	5,00	5,00	57,30
No. 30	0,600	mm	5	10	7,50	2,50	2,50	28,65
No. 50	0,300	mm	4	8	6,00	1,50	1,50	17,19
No. 100	0,149	mm	3	7	5,00	1,00	1,00	11,46
No. 200	0,075	mm	2	5	3,50	1,50	1,50	17,19
Pan			0,00	0,00	0	0	3,50	40,11
Total								**1146**

Tabel 4.3 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen %		Total Campuran	Berat (gr)
			Min	Max	Lolos	Tertahan		
3/4 "	19	mm	100	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2 "	12,5	mm	100	100	100	0,00	0,00	0,00
3/8 "	9,5	mm	85	100	92,50	7,50	7,50	85,50
No.4	4,76	mm	20	45	32,50	60,00	60,00	684,00
No. 8	2,36	mm	10	20	15,00	17,50	17,50	199,50
No. 16	1,18	mm	6	14	10,00	5,00	5,00	57,00
No. 30	0,600	mm	5	10	7,50	2,50	2,50	28,50
No. 50	0,300	mm	4	8	6,00	1,50	1,50	17,10
No. 100	0,149	mm	3	7	5,00	1,00	1,00	11,40
No. 200	0,075	mm	2	5	3,50	1,50	1,50	17,10
Pan			0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	39,90
Total								**1140**

Tabel 4.4 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen %		Total Campuran	Berat (gr)
			Min	Max	Lolos	Tertahan		
3/4 "	19	mm	100	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2 "	12,5	mm	100	100	100	0,00	0,00	0,00
3/8 "	9,5	mm	85	100	92,50	7,50	7,50	85,05
No.4	4,76	mm	20	45	32,50	60,00	60,00	680,40
No. 8	2,36	mm	10	20	15,00	17,50	17,50	198,45
No. 16	1,18	mm	6	14	10,00	5,00	5,00	56,70
No. 30	0,600	mm	5	10	7,50	2,50	2,50	28,35
No. 50	0,300	mm	4	8	6,00	1,50	1,50	17,01
No. 100	0,149	mm	3	7	5,00	1,00	1,00	11,34
No. 200	0,075	mm	2	5	3,50	1,50	1,50	17,01
Pan			0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	39,69
Total								**1134**

Tabel 4.5 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen %		Total Campuran	Berat (gr)
			Min	Max	Lolos	Tertahan		
3/4 "	19	mm	100	100	100,	0,00	0,00	0,00
1/2 "	12,5	mm	100	100	100,	0,00	0,00	0,00

Lanjutan Tabel 4.5 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 6%

3/8 "	9,5	mm	85	100	92,50	7,50	7,50	84,60
No.4	4,76	mm	20	45	32,50	60,00	60,00	676,8
No. 8	2,36	mm	10	20	15,00	17,50	17,50	197,4
No. 16	1,18	mm	6	14	10,00	5,00	5,00	56,40
No. 30	0,600	mm	5	10	7,50	2,50	2,50	28,20
No. 50	0,300	mm	4	8	6,00	1,50	1,50	16,92
No. 100	0,149	mm	3	7	5,00	1,00	1,00	11,28
No. 200	0,075	mm	2	5	3,50	1,50	1,50	16,92
Pan			0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	39,48
Total								**1128**

Tabel 4.6 Gradasi Rencana Aspal Porus dengan Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen %		Total Campuran	Berat (gr)
			Min	Max	Lolos	Tertahan		
3/4 "	19	mm	100	100	100,0	0,00	0,00	0,00
1/2 "	12,5	mm	100	100	100,0	0,00	0,00	0,00
3/8 "	9,5	mm	85	100	92,50	7,50	7,50	84,15
No.4	4,76	mm	20	45	32,50	60,00	60,00	673,2
No. 8	2,36	mm	10	20	15,00	17,50	17,50	196,3
No. 16	1,18	mm	6	14	10,00	5,00	5,00	56,10
No. 30	0,600	mm	5	10	7,50	2,50	2,50	28,05
No. 50	0,300	mm	4	8	6,00	1,50	1,50	16,83
No. 100	0,149	mm	3	7	5,00	1,00	1,00	11,22
No. 200	0,075	mm	2	5	3,50	1,50	1,50	16,83
Pan			0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	39,27
Total								**1122**

4.4.5 Pembuatan dan Proporsi Campuran

Benda uji dibuat berdasarkan kadar perkiraan aspal yang digunakan. Setelah didapat nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) spesifikasi gradasi (AAPA 2004) Benda uji sesuai berdasarkan variasi penambahan PET 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%

4.5 Rancangan Benda Uji

Jumlah benda uji dibuat pada masing-masing pengujiannya disesuaikan pada kebutuhan penelitian, seperti pada Tabel 4.7 sampai Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan KAO

Variasi Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji		
	Marshall	*AFD*	*CL*
4,5%	3	3	3
5%	3	3	3
5,5%	3	3	3
6%	3	3	3
6,5%	3	3	3
Jumlah	15	15	15
Total	45		

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO

Variasi Kadar PET	Jumlah Benda Uji				
	Marshall	*AFD*	*IRS*	*ITS*	*CL*
0%	3	3	3	3	3
2%	3	3	3	3	3
4%	3	3	3	3	3
6%	3	3	3	3	3
8%	3	3	3	3	3
Jumlah	15	15	15	15	15
Total	75				

4.6 Pelaksanaan Pengujian

Penelitian dilaksanakan dengan melalui tahapan-tahapan yang meliputi persiapan alat dan bahan, pembuatan benda uji.

4.6.1 Pembuatan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan metode pencampuran konvensional untuk memastikan ikatan kuat antara aspal dan agregat, serta mengurangi pengaruh kelembaban. Sebelum diperoleh kadar aspal optimum (KAO), agregat kasar, halus, dan filler yang telah dipanaskan dicampur dengan aspal panas dalam berbagai kadar, kemudian diaduk hingga merata. Setelah nilai KAO ditentukan, pencampuran dilakukan kembali dengan metode yang sama, namun ditambahkan PET dalam variasi kadar guna mengevaluasi pengaruh modifikasi terhadap kinerja campuran.

4.6.2 Pengujian *Marshall Standard* (MS)

Pengujian *Marshall Standard* bertujuan untuk memperoleh parameter karakteristik campuran beraspal, seperti *Void in Total Mix* (VITM), *Void Filled with Asphalt* (VFWA), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), kelelehan *(flow)*, kepadatan *(density)*, stabilitas, dan *Marshall Quotient* (MQ). Adapun tahapan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Membersihkan permukaan benda uji dari debu dan kotoran yang menempel.
2. Mengukur tinggi benda uji pada tiga titik berbeda untuk memperoleh rata-rata tinggi yang representatif.
3. Menimbang benda uji dalam kondisi kering (sebelum perendaman) dan mencatat bobotnya.
4. Merendam benda uji di dalam air selama 20–24 jam pada suhu ruang untuk mencapai kondisi jenuh air.
5. Menimbang benda uji dalam kondisi terendam air guna memperoleh berat isi.
6. Mengeringkan permukaan benda uji dengan kain lembap hingga mencapai kondisi jenuh permukaan kering (SSD), lalu menimbang untuk mendapatkan berat jenuh.
7. Memasukkan benda uji ke dalam *water bath* bersuhu 60 ± 1°C selama 30 menit sebelum pengujian.
8. Membersihkan batang penuntun *(guide rod)* dan kepala penekan *(test head),* serta melumasi batang agar kepala penekan dapat bergerak bebas. Bila diperlukan, kepala penekan direndam bersama benda uji pada suhu 21–38°C.
9. Mengeluarkan benda uji dari water bath dan memasang arloji kelelehan (*flow meter)* di atas salah satu batang penuntun.
10. Menaikkan kepala penekan hingga benda uji menyentuh cincin penguji, lalu mengatur jarum arloji tekan ke posisi nol.
11. Melakukan pembebanan dengan kecepatan tetap 50 mm/menit hingga tercapai beban maksimum, lalu mencatat angka pada arloji *flow* saat arloji beban berhenti.
12. Mengeluarkan benda uji dari alat setelah pengujian selesai.

13. Mengulangi seluruh tahapan di atas untuk setiap benda uji lain yang telah disiapkan dalam penelitian.

4.6.3 Pengujian *Cantabro Loss* (CL)

Pengujian *Cantabro Loss* bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan campuran aspal porus terhadap abrasi. Prosedur pengujian dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

1. Memadatkan benda uji dengan 50 tumbukan pada masing-masing sisi
2. Menyimpan benda uji dalam kondisi diam selama 48 jam pada suhu ruang untuk mencapai kestabilan dimensi.
3. Menimbang benda uji untuk memperoleh berat awal sebelum proses abrasi.
4. Memasukkan benda uji ke dalam drum mesin *Los Angeles* tanpa bola baja, lalu mengoperasikan mesin dengan kecepatan 30–33 rpm sebanyak 300 putaran.
5. Mengeluarkan benda uji dari drum setelah proses selesai, lalu menimbang kembali untuk memperoleh berat akhir.

4.6.4 Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD)

Pengujian *Asphalt Flow Down* dilakukan untuk mengetahui stabilitas dimensi dan kecenderungan aliran aspal pada suhu tinggi. Tahapan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Cetakan berupa nampan logam berukuran 20 × 40 cm dilapisi dengan kertas aluminium foil, kemudian ditimbang dan dicatat sebagai berat awal cetakan (m1).
2. Campuran aspal dibuat hingga homogen, kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi aluminium foil. Permukaan campuran diratakan dan seluruh sistem kembali ditimbang untuk mendapatkan berat cetakan berisi campuran (m1).
3. Cetakan yang telah berisi campuran aspal dimasukkan ke dalam oven pada suhu ±160 °C selama ±60 menit.
4. Langkah-langkah tersebut diulangi sesuai jumlah replikasi yang dibutuhkan dalam penelitian.

5. Setelah pemanasan, cetakan dikeluarkan dari oven dan campuran aspal segera dituangkan. Cetakan yang masih dilapisi aluminium foil dan sisa campuran yang menempel ditimbang kembali untuk memperoleh berat akhir (m3).

4.6.5 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Pengujian kuat tarik tidak langsung *(Indirect Tensile Strength/ITS)* dilakukan untuk mengetahui sejauh mana ketahanan campuran terhadap gaya tarik melintang yang bekerja secara tidak langsung. Adapun tahapan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Membuat benda uji dengan nilai KAO yang telah didapatkan dari pengujian *Marshall*.
2. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian.
3. Mengamati pembacaan dial dan catat hasilnya.
4. Mengulangi langkah-langkah seperti di atas untuk bahan uji yang lain sebanyak benda uji yang dibuat dalam penelitian.

4.6.6 Pengujian *Index of Retained Strength* (IRS)

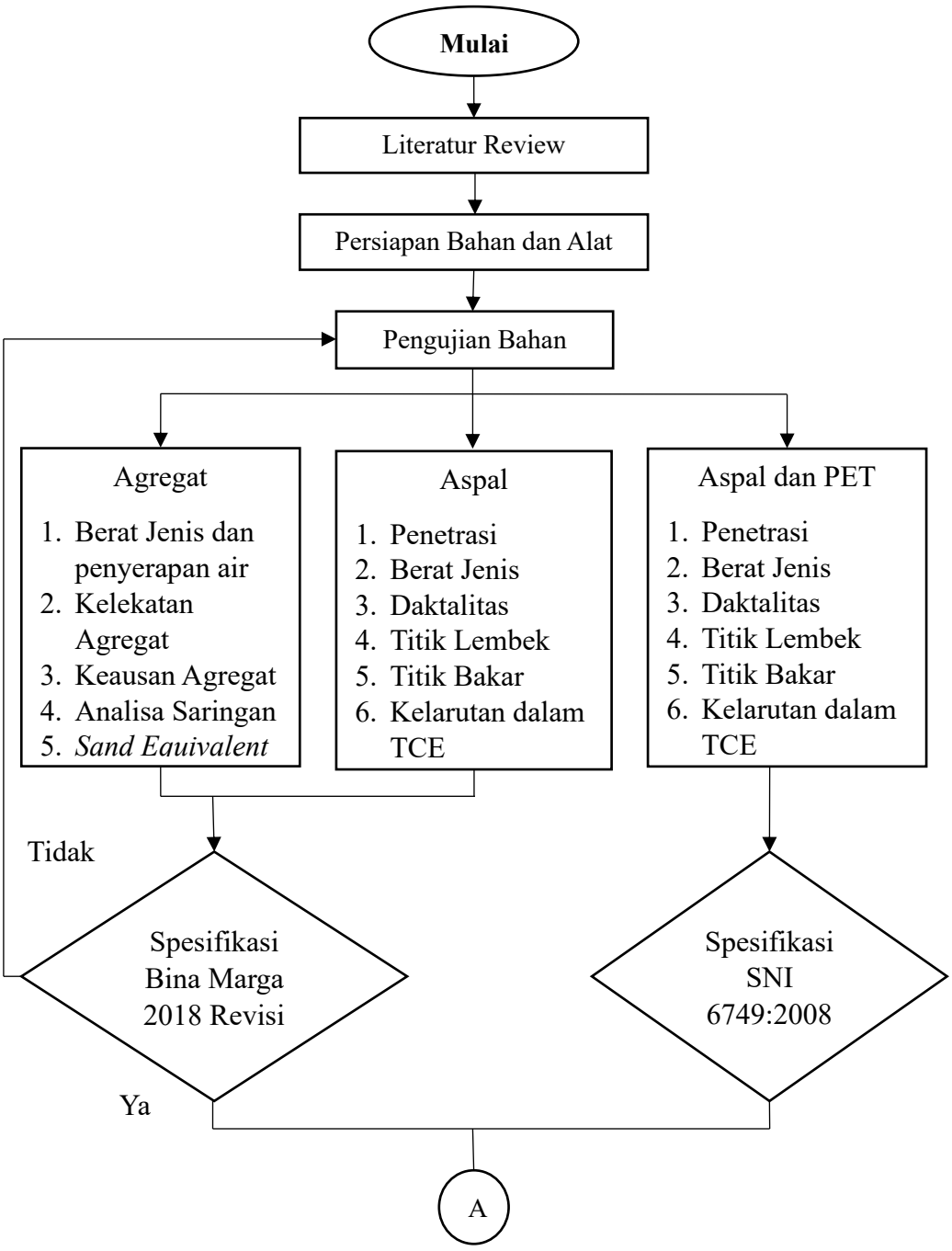
Pengujian *Indeks of Retained Strength* (IRS) bertujuan untuk mengevaluasi daya tahan campuran aspal terhadap efek perendaman air. Adapun tahapan pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji berdasarkan kadar aspal optimum (KAO) yang diperoleh dari hasil pengujian *Marshall*.
2. Mengukur tinggi benda uji pada tiga titik berbeda untuk mendapatkan nilai rata-rata, lalu menimbang dan mencatat berat benda uji dalam kondisi kering sebelum perendaman.
3. Merendam benda uji dalam air selama 20 hingga 24 jam pada suhu ruang agar mencapai kondisi jenuh, kemudian menimbang benda uji dalam kondisi terendam untuk memperoleh berat isi.
4. Mengeluarkan benda uji dari rendaman dan mengeringkan permukaannya hingga mencapai kondisi kering permukaan jenuh (SSD), lalu menimbang kembali untuk memperoleh berat jenuh.

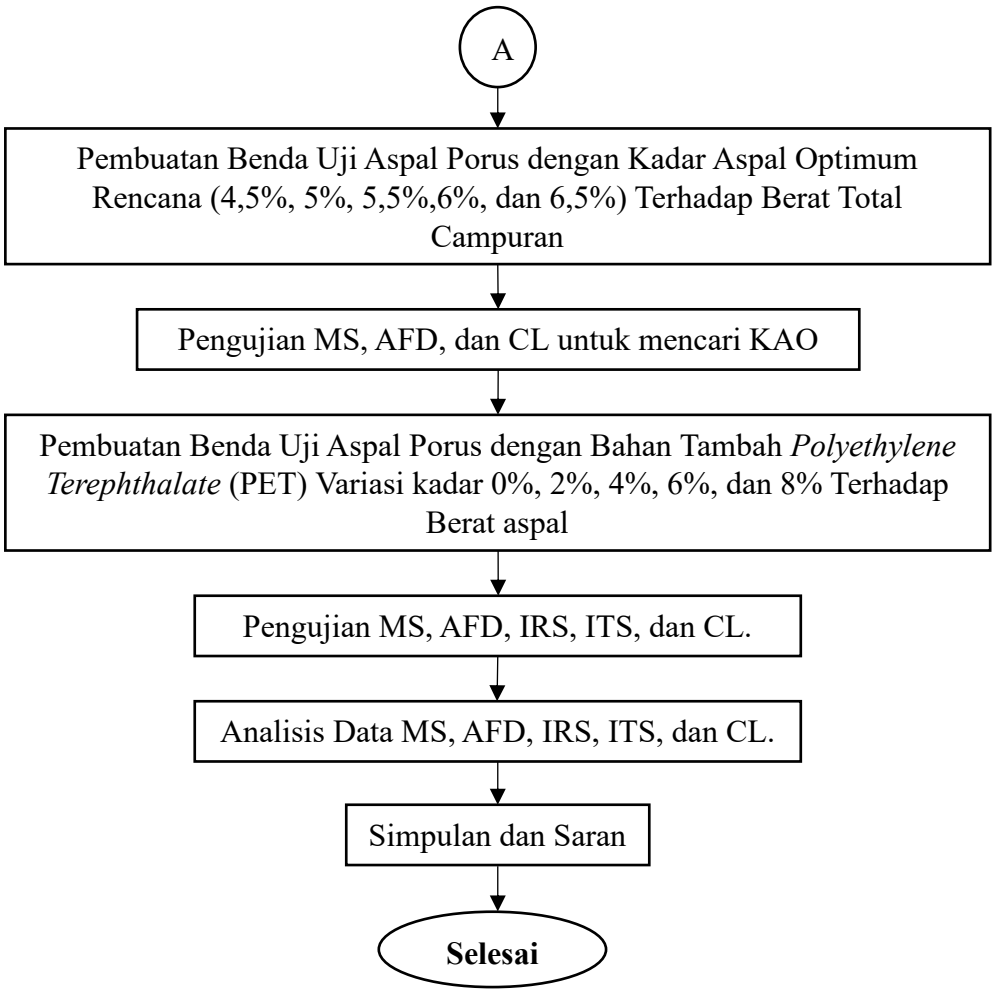
5. Memasukkan benda uji ke dalam water bath selama 24 jam untuk simulasi perendaman lanjutan pada suhu tertentu.
6. Menyiapkan kepala penekan *(test head)* dan melumasi batang penuntun. Memastikan mesin uji *Marshall* beserta perlengkapannya berfungsi normal dan menyetel dial stabilitas ke posisi nol.
7. Mengeluarkan benda uji dari *water bath* dan meletakkannya pada *test head*, kemudian memasang dial *flow*, dan memulai pembebanan menggunakan mesin *Marshall*. Dial stabilitas diamati hingga mencapai nilai maksimum, lalu dilakukan pembacaan pada dial *flow*.
8. Mencatat nilai maksimum pembebanan pada dial stabilitas serta nilai kelelehan pada dial *flow*.
9. Mengulangi seluruh tahapan pengujian untuk setiap benda uji lainnya yang telah disiapkan sesuai jumlah replikasi dalam penelitian.

4.7 *Flow Chart* Penelitian

Berikut adalah gambaran susunan penelitan yang akan dilakukan.



Gambar 4.1 *Flow Chart* Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 *Flow Chart* Penelitian

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Hasil pengujian adalah data atau informasi yang diperoleh dari proses pengujian untuk mengetahui mutu, sifat, dan kesesuaian bahan atau campuran terhadap standar yang berlaku. Berdasarkan hasil pengujian terhadap bahan dan campuran yang telah dilakukan dalam serangkaian penelitian.

5.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Pemeriksaan karakteristik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70 yang pengujiannya mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 sebagai acuan awal untuk karakteristik aspal konvensional. Pengujian karakteristik aspal dengan penambahan PET juga dilakukan untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik dan mekanis akibat modifikasi polimer. Namun demikian, penggunaan spesifikasi Bina Marga sebagai satu satunya spesifikasi dinilai kurang sepenuhnya relevan untuk aspal termodifikasi polimer, karena spesifikasi tersebut dikembangkan terutama untuk aspal konvensional. Oleh karena itu, evaluasi hasil pengujian juga mengacu pada SNI 6749:2008 tentang Aspal Polimer, yang secara khusus menetapkan persyaratan kinerja dan sifat teknis aspal yang dimodifikasi polimer.

Dalam penelitian ini disajikan perbandingan antara persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dan SNI 6749:2008 untuk menunjukkan perbedaan kriteria penilaian mutu aspal konvensional dan aspal polimer, sekaligus memberikan dasar evaluasi yang lebih relevan terhadap perilaku dan kinerja aspal PET.

1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

Berikut disajikan hasil pemeriksaan karakteristik aspal Penetrasi 60/70 yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Hasil pengujian ini digunakan sebagai acuan awal untuk mengevaluasi kesesuaian mutu aspal konvensional sebelum dilakukan modifikasi dengan bahan tambah PET, serta sebagai dasar pembanding dalam menganalisis perubahan sifat fisik dan mekanis aspal akibat proses modifikasi.

Tabel 5.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 0% PET Berdasarkan Bina Marga 2018 Revisi 2

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,045	Memenuhi
2	Penetrasi Pada 25^{o}C (0,1 mm)	60 - 70	64,3	Memenuhi
3	Daktilitas pada 25^{o}C (cm)	≥ 100	130	Memenuhi
4	Titik Nyala (^{o}C)	≥ 232	333	Memenuhi
5	Titik Bakar (^{o}C)	≥ 232	338	Memenuhi
6	Titik lembek (^{o}C)	≥ 48	49	Memenuhi
7	Kelarutan dalam TCE (%)	≥ 99	99	Memenuhi
8	*Penetration Index* (PI)	-	-0,85	-
9	*Stiffness bitumen* (Sbit)	-	19,80	-

2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 Spesifikasi SNI 6749:2008

Berikut disajikan hasil pemeriksaan karakteristik aspal Penetrasi 60/70 yang mengacu pada SNI 6749:2008 tentang persyaratan aspal modifikasi polimer. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian sifat fisik dan kinerja aspal yang telah dimodifikasi dengan plastik PET terhadap persyaratan aspal termodifikasi, serta sebagai pembanding terhadap hasil pengujian yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Hasil tersebut digunakan untuk menilai relevansi penerapan spesifikasi aspal polimer dalam merepresentasikan kinerja aspal hasil modifikasi PET.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 2% PET Berdasarkan SNI 6749 2008

No	Jenis Pengujian	Syarat SNI 6749:2008	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,067	Memenuhi
2	Penetrasi Pada 25°C (0,1 mm)	50 - 70	63,9	Memenuhi
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	-	118,5	-
4	Titik Nyala (°C)	≥ 232	335	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	≥ 232	340	Memenuhi
6	Titik Lembek (°C)	≥ 56	50	* Tidak Memenuhi
7	Kelarutan dalam TCE (%)	≥ 99	-	-
8	*Penetration Index* (PI)	-	-0,62	-
9	*Stiffness bitumen* (Sbit)	-	20,16	-

Tabel 5.3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 4% PET Berdasarkan SNI 6749 2008

No	Jenis Pengujian	Syarat SNI 6749:2008	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,080	Memenuhi
2	Penetrasi Pada 25°C (0,1 mm)	50 - 70	60	Memenuhi
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	-	95	-
4	Titik Nyala (°C)	≥ 232	340	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	≥ 232	347	Memenuhi
6	Titik Lembek (°C)	≥ 56	50,5	* Tidak Memenuhi
7	Kelarutan dalam TCE (%)	≥ 99	-	-
8	*Penetration Index* (PI)	-	-0,65	-
9	*Stiffness bitumen* (Sbit)	-	22,33	-

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 6% PET Berdasarkan SNI 6749 2008

No	Jenis Pengujian	Syarat SNI 6749:2008	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,118	Memenuhi
2	Penetrasi Pada 25°C (0,1 mm)	50 - 70	57	Memenuhi
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	-	92	-
4	Titik Nyala (°C)	≥ 232	345	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	≥ 232	348	Memenuhi
6	Titik lembek (°C)	≥ 56	62	Memenuhi
7	Kelarutan dalam TCE (%)	≥ 99	-	-
8	*Penetration Index* (PI)	-	1,76	-
9	*Stiffness bitumen* (Sbit)	-	24,23	-

Tabel 5.5 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan 8% PET Berdasarkan SNI 6749 2008

No	Jenis Pengujian	Syarat SNI 6749:2008	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,139	Memenuhi
2	Penetrasi Pada 25°C (0,1 mm)	50 - 70	52,9	Memenuhi
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	-	88,5	-
4	Titik Nyala (°C)	≥ 232	347	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	≥ 232	349	Memenuhi
6	Titik Lembek (°C)	≥ 56	65	Memenuhi
7	Kelarutan dalam TCE (%)	≥ 99	-	-
8	*Penetration Index* (PI)	-	2,12	-
9	*Stiffness bitumen* (Sbit)	-	27,22	-

Keterangan:

* Tidak Memenuhi : Hasil tetap dipakai karena pengujian bersifat experimental

Memenuhi : Hasil sesuai dengan yang diharapkan

\- : Tidak ada persyaratan

5.1.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pemeriksaan karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Agregat yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang berasal dari di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dengan mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 5.11 sampai Tabel 5.13

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,87	Memenuhi
2	Penyerapan air	≤ 3	1,38	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat	≥ 95	98	Memenuhi
4	Uji Keausan	≤ 40	15,73	Memenuhi

Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,69	Memenuhi
2	Penyerapan air	≤ 3	2,46	Memenuhi
3	*Sand Equivalent (SE)* (%)	≥ 50	72,47	Memenuhi

Tabel 5.8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis *Filler*

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,62

5.1.3. Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Dalam proses penentuan kadar aspal optimum pada campuran *Asphalt Porous Wearing Course*, dilakukan serangkaian pengujian *Marshall*. Parameter yang menjadi dasar penetapan kadar aspal optimum aspal porus meliputi nilai VITM dari hasil uji karakteristik MS, nilai CL, serta hasil uji AFD yang mengacu pada spesifikasi AAPA 2004 dapat dilihat pada Tabel 5.9 sampai 5.11

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall Standard* Campuran Aspal Porus

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (gr/cc)
4,5	361,34	2,52	143,39	19,94	26,37	24,05	2,044
5	437,00	2,70	161,85	18,90	26,36	24,04	2,055
5,5	538,52	3,34	161,23	18,65	27,07	24,77	2,046
6	560,3	3,90	143,66	15,96	25,61	23,26	2,098
`6,5	494,7	4,14	119,50	14,65	25,4	23,05	2,115
Spesifikasi	>500	2-6	<400	18-25	-	-	-

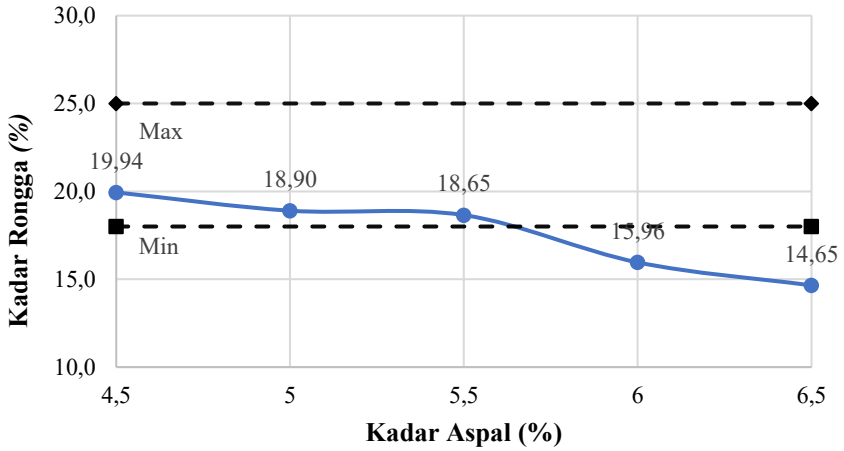
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Karakteristik *Cantabro Loss* Campuran Aspal Porus

Kadar Aspal (%)	Nilai *Cantabro Loss* (%)
4,5	37,52
5	35,22
5,5	28,46
6	22,80
6,5	21,88
Spesifikasi	<35

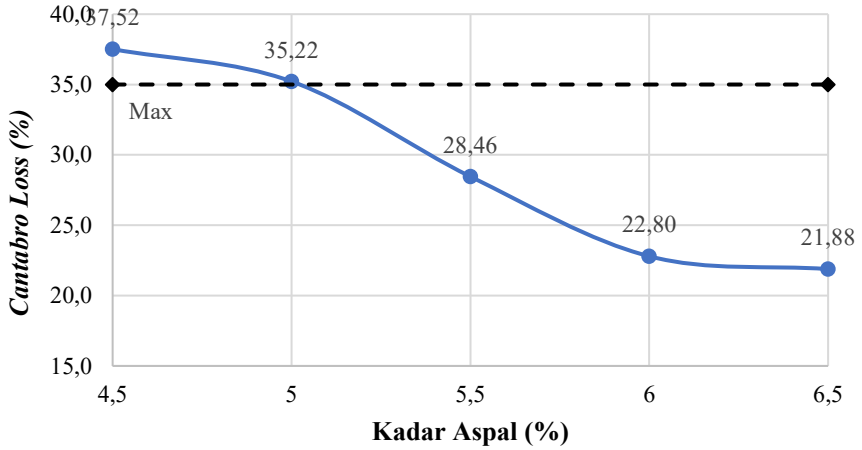
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Karakteristik *Asphalt Flow Down* Campuran Aspal Porus

Kadar Aspal (%)	Nilai *Asphalt Flow Down* (%)
4,5	0,046
5	0,119
5,5	0,210
6	0,768
6,5	1,005
Spesifikasi	<0,3

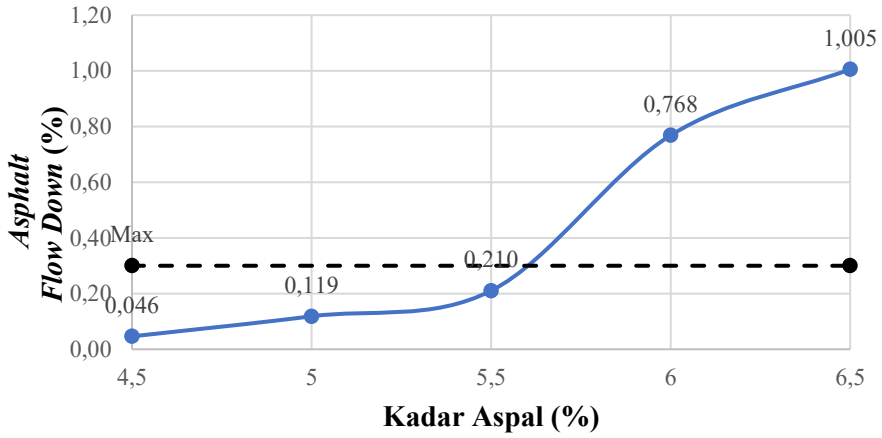
Berikut adalah grafik hubungan kadar aspal dengan hasil pengujian MS *VITM*, hasil pengujian *CL* dan hasil pengujian *AFD* yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran aspal porus. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai 5.3 berikut



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *VITM*



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Cantabro Loss*



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Asphalt Flow Down*

Setelah mendapatkan hasil pada masing masing pengujian selanjutnya adalah menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porus berdasarkan spesifikasi AAPA 2004. Berikut adalah tahapan tahapannya.

1. Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai VITM 18% (KAO Maksimum) yaitu 5,62%
2. Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai CL 35% (KAO Minimum) yaitu 5,02%
3. Menentukan nilai rata - rata KAO maksimum dan minimum yaitu 5,32%
4. Proyeksikan nilai rata - rata KAO 5,32% terhadap grafik AFD, sehingga diperoleh nilai AFD pada kadar aspal tersebut yaitu 0,136%

5. Jumlahkan nilai rata - rata KAO 5,33% dengan nilai AFD 0,115% sehingga diperoleh KAO pada campuran aspal porus sebesar 5,46%

Kadar aspal optimum yang diperoleh pada campuran aspal porus spesifikasi gradasi AAPA yaitu sebesar 5,46% dari berat total campuran.

5.1.4. Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Pada pengujian campuran aspal porus meliputi pengujian *Marshall Standard* (MS), *Cantabro Loss* (CL), *Asphalt Flow Down* (AFD), *Indirect Tensile Strenght* (ITS), dan *Index Retained Strenght* (IRS). Seluruh pengujian tersebut dilakukan pada campuran aspal yang telah ditetapkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebagai dasar perancangan campuran. PET digunakan sebagai bahan tambah aspal dengan variasi kadar sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat aspal. Hasil perhitungan kebutuhan PET untuk masing masing variasi kadar disajikan secara pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Hasil Penentuan Berat Bahan Tambah PET

Kadar Aspal Optimum (KAO) (%)	Berat Aspal (gr)	Kadar PET (%)	Berat PET (gr)	Berat Aspal + PET
5,46	65,48	0	0	65,48
5,46	65,48	2	1,31	66,79
5,46	65,48	4	2,62	68,10
5,46	65,48	6	3,93	69,41
5,46	65,48	8	5,24	70,72

Dengan adanya penambahan PET pada campuran aspal porus menggunakan aspal penetrasi 60/70, diperoleh hasil pengujian kinerja campuran yang mencakup parameter MS, CL, AFD, ITS, dan IRS. Hasil pengujian untuk masing masing pengujian disajikan pada Tabel 5.13 hingga Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall Standard* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Kadar PET (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (gr/cc)
0	518,15	4,60	112,64	18,86	36,116	24,88	2,042
2	538,00	4,50	119,56	19,06	35,817	25,06	2,037
4	611,03	4,21	145,14	19,30	35,462	25,28	2,031
6	671,23	3,80	176,64	19,42	35,287	25,4	2,028
8	711,61	3,54	201,02	19,50	35,170	25,47	2,026
Spesifikasi	>500	2-6	<400	18-25	-	-	-

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Karakteristik *Cantabro Loss* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Kadar PET (%)	Nilai *Cantabro Loss* (%)
0	32,41
2	31,68
4	15,50
6	10,02
8	9,10
Spesifikasi	<35

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Karakteristik *Asphalt Flow Down* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Kadar PET (%)	Nilai *Asphalt Flow Down* (%)
0	0,30
2	0,29
4	0,23
6	0,22
8	0,18
Spesifikasi	<0,3

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Karakteristik *Index Retained Strenght* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Kadar PET (%)	Stabilitas (kg)		IRS (%)
	Perendaman 0,5 Jam	Perendaman 24 Jam	
0	518,15	311,51	60,12
2	538,00	364,41	67,73
4	611,03	487,28	79,75
6	671,23	588,47	87,67
8	711,61	669,01	94,01

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Karakteristik *Indirect Tensile Strenght* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

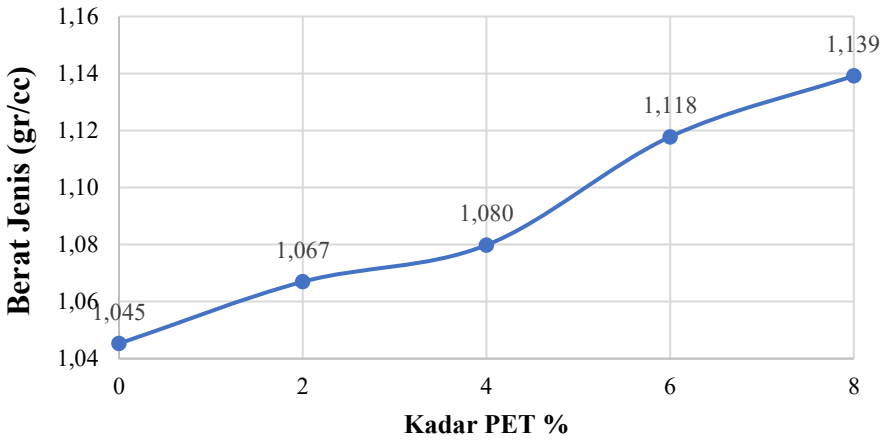
Kadar PET (%)	ITS (Kpa)
0	632,42
2	692,52
4	986,17
6	1109,51
8	1278,16

5.2 Pembahasan

5.2.1. Karakteristik Aspal

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan parameter dasar yang menggambarkan kerapatan dan kepadatan relatif binder aspal, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara massa aspal terhadap massa air. Nilai berat jenis mencerminkan tingkat kerapatan struktur molekul aspal, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan dominasi fraksi asphalten, sedangkan nilai yang lebih rendah mengindikasikan proporsi fraksi ringan maltene yang lebih besar. Hasil pengujian berat jenis aspal pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Berat Jenis

Hasil pengujian, berat jenis aspal menunjukkan meningkat seiring bertambahnya kadar PET. Pada kadar PET 0%, nilai berat jenis tercatat sebesar 1,045, kemudian meningkat menjadi 1,067 pada PET 2%, 1,080 pada PET 4%, 1,118 pada PET 6%, dan mencapai 1,139 pada kadar PET 8%. Kenaikan ini menunjukkan bahwa keberadaan PET tidak hanya berperan sebagai bahan pengisi pasif, tetapi turut memodifikasi struktur aspal.

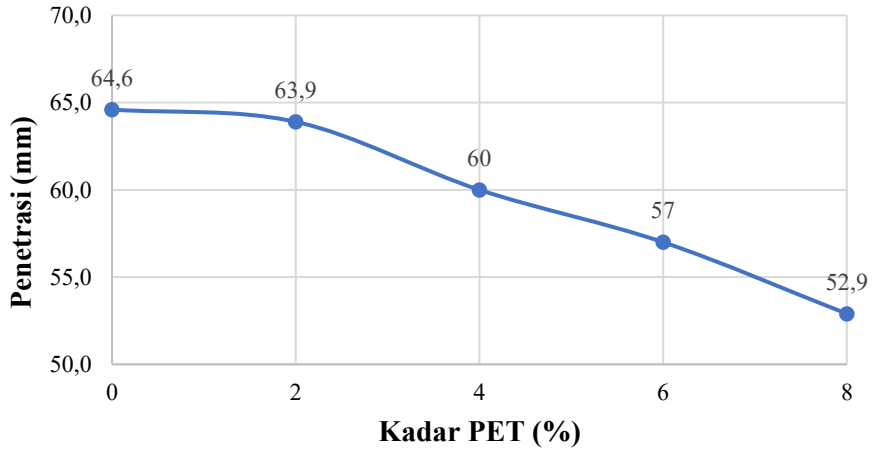
Berdasarkan hasil tersebut, kondisi awal 0% PET, peningkatan berat jenis aspal pada PET 2% mencapai 2,11%, meningkat menjadi 3,35% pada PET 4%, 6,98% pada PET 6%, dan mencapai 9,00% pada PET 8%. peningkatan berat jenis ini disebabkan oleh terbentuknya jaringan polimer PET di dalam matriks aspal yang memperkuat interaksi antar molekul binder.

Penelitian oleh Harahap dkk. (2023) menunjukkan bahwa berat jenis aspal meningkat secara konsisten seiring bertambahnya kadar PET dalam binder, yang mengindikasikan bahwa kehadiran PET memperpadat struktur internal aspal dan meningkatkan kerapatan efektif material.

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, nilai berat jenis aspal dengan penambahan PET pada seluruh variasi kadar telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dan SNI 6749:2008 yaitu sama sama ≥ 1,0, sehingga binder yang dihasilkan dinyatakan layak digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran perkerasan beraspal.

2. Penetrasi Aspal

Penetrasi aspal merupakan pengujian yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kekerasan atau konsistensi aspal, yang ditentukan berdasarkan kedalaman penetrasi jarum standar ke dalam permukaan sampel aspal pada kondisi pengujian tertentu, meliputi beban, suhu, dan waktu yang telah ditetapkan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisik aspal, khususnya ketahanannya terhadap deformasi pada suhu layanan. Nilai penetrasi yang diperoleh mencerminkan sifat kekerasan aspal, di mana nilai penetrasi yang lebih besar menunjukkan aspal yang lebih lunak, sedangkan nilai yang lebih kecil menunjukkan aspal yang lebih keras. Hasil pengujian penetrasi aspal pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Penetrasi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai penetrasi aspal cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik PET pada aspal penetrasi 60/70. Nilai penetrasi tertinggi diperoleh pada kadar PET 0% sebesar 64,6 mm, sedangkan nilai penetrasi terendah terjadi pada kadar PET 8% dengan nilai sebesar 52,9 mm. Hasil pengujian penetrasi pada kadar PET 0% atau aspal tanpa modifikasi pet telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu memiliki nilai penetrasi lebih atau sama dengan 60 mm. Pada kadar PET 2% dan 8% nilai penetrasi telah memenuhi persyaratan SNI 6749:2008, Penurunan nilai penetrasi ini menunjukkan bahwa penambahan PET menyebabkan

aspal menjadi lebih keras akibat meningkatnya kekakuan binder, sehingga daya tembus jarum penetrasi semakin berkurang.

Berdasarkan hasil tersebut, penurunan nilai penetrasi dengan kadar PET 0% sebagai kondisi acuan, yang memiliki nilai penetrasi sebesar 64,6 mm. Pada penambahan PET sebesar 2%, nilai penetrasi menurun menjadi 63,9 mm atau berkurang sebesar 1,08% dibandingkan kondisi awal. Penambahan PET sebesar 4% menghasilkan nilai penetrasi sebesar 60 mm atau mengalami penurunan sebesar 7,20%. Selanjutnya, pada kadar PET 6% nilai penetrasi tercatat sebesar 57 mm atau menurun sebesar 12,67%. Penurunan paling besar terjadi pada penambahan PET 8%, di mana nilai penetrasi mencapai 52,9 mm atau mengalami penurunan sebesar 20,53% terhadap kadar PET 0%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar PET 8% memberikan pengaruh paling besar terhadap penurunan nilai penetrasi aspal.

Penurunan nilai penetrasi pada aspal modifikasi PET menunjukkan peningkatan kekerasan, yang secara konseptual memengaruhi campuran terhadap berbagai pengujian. Pada pengujian *Marshall*, penetrasi yang lebih rendah cenderung meningkatkan stabilitas karena campuran lebih mampu menahan beban, namun nilai *flow* dapat menurun akibat berkurangnya sifat plastis. Dalam CL peningkatan kekakuan umumnya memperkuat kohesi agregat sehingga kehilangan butir menurun, selama campuran tidak menjadi terlalu getas. Terhadap AFD, penetrasi rendah berkorelasi dengan viskositas lebih tinggi sehingga risiko aliran aspal pada suhu tinggi berkurang. Pada IRS, kekakuan yang meningkat dapat memperbaiki ketahanan terhadap kerusakan akibat air karena ikatan internal lebih kuat. Sementara itu, pada ITS penetrasi rendah biasanya meningkatkan kuat tarik tidak langsung karena campuran lebih kuat terhadap tegangan tarik.

Penurunan nilai penetrasi pada aspal modifikasi PET dapat dijelaskan melalui mekanisme interaksi antara limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dengan komponen binder. PET yang ditambahkan ke dalam aspal penetrasi 60/70 tidak sepenuhnya larut, tetapi mengalami fenomena dispersi dan pembengkakan dalam fraksi maltene aspal. Polimer PET ini cenderung menyerap sebagian fraksi cair binder, sehingga membentuk struktur internal yang lebih rapat dan kaku. Akibatnya, jaringan polimer internal tersebut mengisi rongga mikro dalam matriks

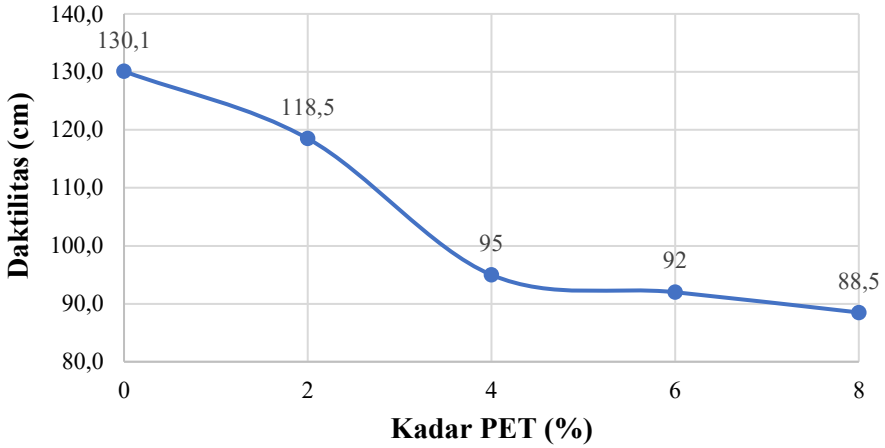
aspal dan meningkatkan adhesi antar komponen binder, yang pada gilirannya meningkatkan kekakuan aspal modifikasi dibandingkan aspal murni. Kondisi tersebut menyebabkan jarum uji penetrasi mengalami hambatan yang lebih besar, sehingga nilai penetrasi binder PET modifikasi menjadi lebih rendah.

Penjelasan ini sejalan dengan penelitian Wibisono dkk. (2023), yang mejelaskan bahwa penambahan PET sebagai bahan tambah menyebabkan nilai penetrasi aspal menurun seiring bertambahnya kadar PET yang terjadi akibat aspal menjadi lebih keras dan kaku. Penelitian serupa dilakukan oleh Fikri dkk. (2019) terhadap aspal penetrasi 60/70 yang dimodifikasi dengan PET juga menemukan bahwa pada kadar PET yang tinggi menyebabkan nilai penetrasi tidak memenuhi persyaratan spesifikasi teknis, karena bindernya menjadi terlalu kaku akibat konten PET yang tinggi.

Berdasarkan Spesifikasi SNI 6749:2008 tentang Aspal Modifikasi Polimer, seluruh nilai penetrasi yang diperoleh pada setiap variasi kadar PET dinyatakan memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh rentang nilai penetrasi hasil pengujian masih berada dalam batas spesifikasi yang diizinkan, sehingga konsistensi dan tingkat kekerasan aspal termodifikasi PET tetap sesuai dengan standar kinerja yang disyaratkan. Dengan terpenuhinya seluruh nilai penetrasi terhadap SNI, dapat disimpulkan bahwa penambahan PET tidak menyebabkan perubahan besar sifat reologi aspal, melainkan masih mampu mempertahankan karakteristik fungsional binder dalam rentang yang layak untuk aplikasi perkerasan jalan.

3. Daktilitas Aspal

Daktilitas aspal adalah parameter yang digunakan untuk mengambarkan kemampuan aspal dalam mengalami deformasi tarik sebelum terjadi putus. Pengujian daktalitas dilakukan untuk menilai sejauh mana tingkat kelenturan kohesi aspal yang berhubungan dengan ketahanan perkerasan terhadap retak terutama akibat suhu yang rendah dan beban lalu lintas yang berulang. Hasil pengujian daktilitas dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Daktilitas

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai daktilitas aspal cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET). Nilai daktilitas pada kadar PET 0% sebesar 130,1 mm dan tidak mengalami putus. Setelah dilakukan penambahan PET, nilai daktilitas mengalami penurunan, yaitu pada kadar 2% sebesar 118,5 mm, pada kadar 4% sebesar 95 mm, pada kadar 6% sebesar 92 mm, dan pada kadar 8% sebesar 88,5 mm, dimana seluruh benda uji pada kadar PET ≥2% mengalami putus pada saat pengujian. Mengacu pada ketekntuan Bina Marga (2018), nilai daktilitas minimum yang dipersyaratkan untuk aspal 60/70 adalah 100 mm. Berdasarkan persyaratan tersebut kadar aspal 0%, 2%, masih memenuhi, sedangkan untuk kadar 6% dan 8% dinyatakan tidak memenuhi standar karena nilai daktilitas berada dibawah batas minimum yang ditetapkan.

Berdasarkan hasil tersebut, kadar 0% yaitu 130,1 mm sebagai variabel kontrol, seiring dengan penambahan PET nilai daktilitas menujukan penurunan pada kadar 2% menurun sebesar 118,5 mm atau menurun 8,92% terhadap variabel kontrol, pada kadar 4% menurun sebesar 95 mm atau menurun 9,79% terhadap variabel kontrol, pada kadar 6% menurun sebesar 92 atau menurun 12,21% terhadap variabel kontrol, dan pada kadar 8% menurun sebesar 88,5 atau menurun 12,61% terhadap variabel kontrol. Berdasarkan hasil tersebut penurunan paling besar menurunkan daktilitas aspal terjadi pada kadar 8%.

Penurunan nilai daktilitas pada aspal modifikasi PET menunjukkan bahwa aspal menjadi lebih kaku dan kemampuan regangannya berkurang. Namun, apabila hasil pengujian kinerja seperti *Marshall*, ITS, IRS, atau CL justru menunjukkan tren positif, kondisi tersebut dapat dijelaskan secara mekanistik. Penurunan daktilitas dalam konteks ini tidak serta merta berarti penurunan mutu, melainkan menunjukkan pergeseran perilaku binder dari plastis menjadi lebih kaku dan stabil.

Penurunan nilai daktilitas akibat penambahan bahan tambah PET disebabkan oleh mekanisme perubahan fisik dan kimia yang terjadi pada struktur internal binder. Pada proses pencampuran dengan suhu tertentu material polimer tidak larut sepenuhnya kedalam aspal melainkan mengalami pelelehan atau terdispersi di dalam fraksi maltene aspal. Sebagian fraksi maltene khususnya komponen aromatic terserap oleh material polimer sehingga menyebabkan fase cair berkurang yang sangat berpengaruh dalam menjaga kelenturan dan kekerasan aspal. Pembentukan jaringan polimer tersebut menghambat kemampuan molekul aspal untuk mengalami deformasi tarik yang besar. Akibatnya, kemampuan aspal untuk meregang sebelum putus menjadi semakin terbatas, yang tercermin dari menurunnya nilai daktilitas. Semakin tinggi kadar polimer yang ditambahkan, semakin besar fraksi maltene yang terikat dan semakin dominan struktur kaku yang terbentuk di dalam aspal. Hal ini menyebabkan aspal kehilangan sebagian sifat elastisnya dan cenderung bersifat lebih getas.

Penelitian yang dilakukan oleh Agha dkk. (2023) Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) ke dalam bitumen menyebabkan terjadinya peningkatan kekakuan binder, yang ditandai dengan perubahan sifat fisik aspal ke arah yang lebih keras dibandingkan dengan bitumen tanpa bahan tambah.

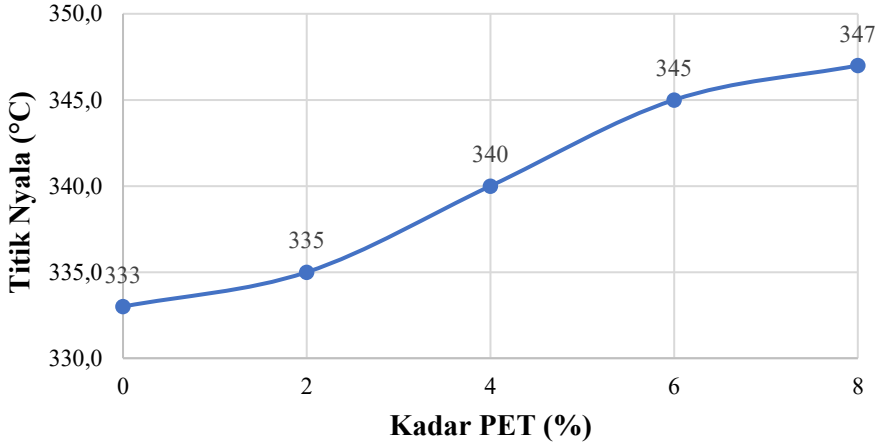
Penggunaan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah pada aspal direkomendasikan pada kadar di bawah 5% apabila ditinjau dari parameter daktilitas. Rekomendasi tersebut didasarkan pada hasil penelitian Arif dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa pada kadar PET di atas batas tersebut, nilai daktilitas aspal tidak lagi memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018, sehingga mengindikasikan penurunan kemampuan aspal dalam mengalami deformasi tarik.

Namun demikian, pada penelitian ini penurunan daktilitas tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2 sudah terjadi pada kadar PET 4%. Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik PET yang digunakan, seperti ukuran partikel dan tingkat dispersi dalam binder, yang memungkinkan terjadinya penyerapan fraksi maltene aspal dalam jumlah lebih besar pada kadar yang relatif lebih rendah. Selain itu, perbedaan suhu dan durasi pencampuran dapat mempercepat pembentukan struktur polimer yang lebih kaku, sehingga kemampuan aspal untuk meregang sebelum putus berkurang lebih awal.

Oleh karena itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa batas optimum penambahan PET terhadap parameter daktilitas dapat lebih rendah dari 5%, bergantung pada kondisi material dan proses pencampuran yang diterapkan tetapi masih sejalan dengan seiring penambahan PET menyebabkan penurunan nilai daktilitas.

4. Titik Nyala Aspal

Titik nyala aspal merupakan suhu terendah pada saat uap yang dihasilkan oleh aspal dapat menyala sesaat ketika didekatkan dengan sumber api. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) cenderung meningkatkan nilai titik nyala aspal. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Titik Nyala

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai titik nyala aspal cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik *Polyethylene*

Terephthalate (PET). Pada kondisi awal tanpa penambahan PET 0%, nilai titik nyala tercatat sebesar 335,03 °C. Selanjutnya, terjadi peningkatan bertahap pada setiap variasi kadar PET, yaitu menjadi sekitar 335 °C pada kadar 2%, 340 °C pada kadar 4%, 345 °C pada kadar 6% dan mencapai nilai tertinggi sebesar 347 °C pada kadar PET 8%.

Berdasarkan hasil pengujian titik nyala aspal, kadar limbah PET 0% digunakan sebagai variabel kontrol dengan nilai titik nyala sebesar 333 °C. Seiring dengan penambahan limbah plastik PET, nilai titik nyala menunjukkan kecenderungan mengalami peningkatan. Pada kadar PET 2%, nilai titik nyala meningkat menjadi 335 °C atau mengalami kenaikan sebesar 0,60%, terhadap variabel kontrol. Selanjutnya, pada kadar PET 4%, nilai titik nyala meningkat menjadi 347 °C atau naik sebesar 2,10% dibandingkan variabel kontrol. Peningkatan kembali terjadi pada kadar PET 6%, dengan nilai titik nyala sebesar 345 °C atau mengalami kenaikan sebesar 3,60%. Nilai titik nyala tertinggi diperoleh pada kadar PET 8%, yaitu sebesar 347 °C atau meningkat 4,20% terhadap variabel kontrol. Berdasarkan hasil tersebut, peningkatan paling besar terhadap nilai titik nyala terjadi pada kadar PET 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET mampu meningkatkan stabilitas termal aspal serta menurunkan kecenderungan terjadinya nyala pada suhu kerja tinggi. Secara keseluruhan, nilai titik nyala yang diperoleh dari pengujian aspal termodifikasi PET telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 maupun Spesifikasi SNI 6749:2008. Hal ini menunjukkan bahwa binder hasil modifikasi memiliki titik nyala yang masih berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan dalam kedua standar tersebut.

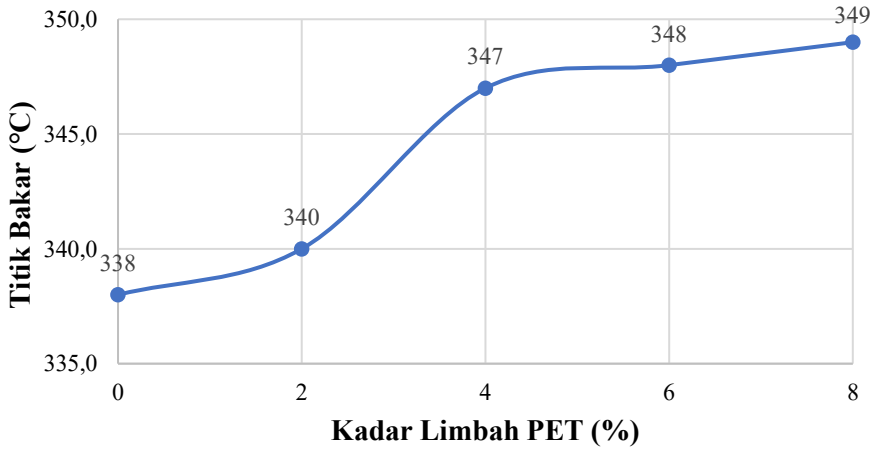
Peningkatan nilai titik nyala seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) menunjukkan bahwa modifikasi PET memberikan pengaruh terhadap sifat termal aspal. Berdasarkan hasil pengujian, nilai titik nyala meningkat dari aspal tanpa PET hingga kadar PET 8%, yang mengindikasikan bahwa aspal menjadi lebih stabil terhadap suhu tinggi. Kondisi ini terjadi karena penambahan PET menyebabkan berkurangnya fraksi ringan (maltene) yang mudah menguap serta meningkatnya fraksi padat dalam binder,

sehingga dibutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk memicu terjadinya nyala. Dengan kata lain, semakin tinggi kadar PET yang ditambahkan, semakin kecil kandungan komponen volatil dalam aspal, yang berdampak pada meningkatnya nilai titik nyala.

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Polacco dkk. (2006) yang menjelaskan bahwa modifikasi aspal dengan polimer menghasilkan perubahan struktur internal binder akibat interaksi antara polimer dan fraksi maltene, sehingga meningkatkan kekakuan dan stabilitas termal aspal. Selain itu, penelitian oleh Sofo dkk. (2024). Melaporkan bahwa penambahan PET pada bitumen secara signifikan meningkatkan nilai titik nyala karena PET bersifat tidak mudah menguap dan memiliki struktur semi kristalin yang mampu menahan degradasi termal pada suhu tinggi. Peningkatan titik nyala ini menunjukkan bahwa aspal modifikasi PET memiliki keamanan termal yang lebih baik selama proses pencampuran dan pelaksanaan di lapangan, serta lebih tahan terhadap risiko penguapan berlebih dan degradasi binder pada temperatur tinggi.

5. Titik Bakar Aspal

Titik bakar aspal merupakan suhu minimum di mana uap yang dihasilkan oleh aspal mampu mempertahankan pembakaran secara berkelanjutan setelah sumber api diberikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) cenderung meningkatkan nilai titik bakar aspal. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Titik Bakar

Hasil pengujian menujukan nilai titik bakar aspal modifikasi PET meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET). Titik bakar tercatat sebesar 338 °C pada kadar PET 0%, kemudian meningkat menjadi 340 °C pada kadar 2%, 347 °C pada kadar 4%, 348 °C pada kadar 6%, dan mencapai 349 °C pada kadar 8%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan PET membuat aspal membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk mempertahankan pembakaran kontinu, yang menandakan bahwa binder modifikasi PET memiliki stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan binder tanpa PET.

Berdasarkan hasil pengujian titik bakar aspal, kadar limbah plastik PET 0% digunakan sebagai variabel kontrol dengan nilai titik bakar sebesar 338 °C. Seiring dengan penambahan limbah plastik PET, nilai titik bakar menunjukkan kecenderungan meningkat. Pada kadar PET 2%, nilai titik bakar meningkat menjadi 340 °C atau mengalami kenaikan sebesar 0,59% terhadap variabel kontrol. Selanjutnya, pada kadar PET 4%, nilai titik bakar meningkat cukup besar menjadi 347 °C atau mengalami kenaikan sebesar 2,66% dibandingkan variabel kontrol. Pada kadar PET 6%, nilai titik bakar kembali meningkat menjadi 348 °C atau naik sebesar 2,96% terhadap variabel kontrol. Nilai titik bakar tertinggi diperoleh pada kadar PET 8%, yaitu sebesar 349 °C atau mengalami peningkatan sebesar 3,25% dibandingkan variabel kontrol. Berdasarkan hasil tersebut, peningkatan paling besar terhadap nilai titik bakar aspal terjadi pada kadar PET 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET mampu meningkatkan ketahanan aspal terhadap pembakaran berkelanjutan.

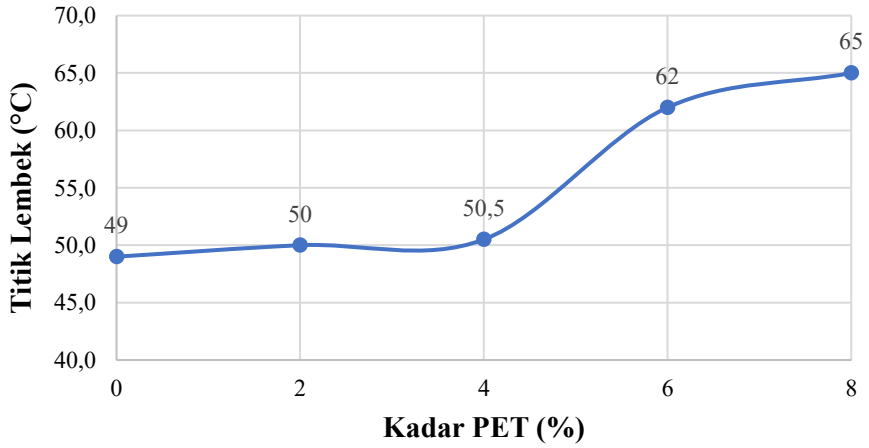
Peningkatan titik bakar ini dapat dijelaskan oleh sifat PET yang memiliki stabilitas termal relatif tinggi dan tidak mudah menguap, sehingga keberadaannya dalam matriks binder mengurangi fraksi ringan yang mudah terbakar dan memperlambat pelepasan uap mudah nyala. Secara mikroskopis, interaksi PET dengan fraksi maltene aspal membentuk struktur binder yang lebih padat dan kaku, yang berdampak pada peningkatan energi yang dibutuhkan agar uap binder terbakar secara berkelanjutan. Dengan demikian, aspal modifikasi PET tidak hanya menunjukkan perubahan pada sifat mekanik seperti penetrasi dan daktilitas, tetapi

juga memperbaiki karakter termal binder, khususnya dalam konteks keselamatan termal aspal pada suhu tinggi.

Penjelasan diatas sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sofo dkk. (2024). Dilaporkan bahwa penambahan PET secara signifikan meningkatkan nilai titik bakar dan titik nyala binder bitumen karena berkurangnya fraksi volatil dan peningkatan komponen yang stabil terhadap panas, sehingga binder modifikasi memiliki ketahanan termal yang lebih baik dibandingkan bitumen konvensional. Selain itu, penelitian oleh Ahmad & Ahmad (2022) juga menjelaskan bahwa penambahan PET menyebabkan peningkatan nilai *flash point* dan *fire point* (titik bakar) bitumen karena PET meningkatkan viskositas binder dan mengurangi volatilitas.

6. Titik Lembek Aspal

Titik lembek aspal merupakan suhu pada saat aspal mulai melunak dan kehilangan kekakuannya sehingga tidak lagi mampu mempertahankan bentuk semula di bawah pengaruh beban tertentu. Pengujian titik lembek dilakukan dengan metode *Ring and Ball*, yang bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan aspal terhadap deformasi pada suhu tinggi. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Titik Lembek

Hasil pengujian menujukan bahwa nilai titik lembek aspal cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET). Pada kondisi awal tanpa penambahan PET 0%,

nilai titik lembek tercatat sebesar 49 °C. Selanjutnya, pada kadar PET 2% terjadi peningkatan menjadi 50 °C, dan pada kadar 4% nilai titik lembek relatif stabil di sekitar 50,5 °C. Peningkatan yang lebih besar mulai terlihat pada kadar PET 6%, di mana nilai titik lembek naik menjadi 62 °C, dan terus meningkat hingga mencapai 65 °C pada kadar PET 8%. Grafik ini menunjukkan bahwa penambahan PET memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan ketahanan aspal terhadap suhu tinggi.

Berdasarkan hasil pengujian titik lembek aspal, terlihat bahwa nilai titik lembek meningkat seiring dengan penambahan kadar limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET). Nilai titik lembek pada kadar PET 0% sebagai variabel kontrol adalah sebesar 49°C. Pada kadar PET 2%, nilai titik lembek meningkat menjadi 50°C atau mengalami kenaikan sebesar 2,04% dibandingkan variabel kontrol. Selanjutnya, pada kadar PET 4%, nilai titik lembek kembali meningkat menjadi 50,5°C atau naik sebesar 3,06% terhadap kadar 0%. Peningkatan yang lebih besar terjadi pada kadar PET 6%, di mana nilai titik lembek mencapai 62°C atau mengalami kenaikan sebesar 26,53% dibandingkan variabel kontrol. Nilai titik lembek tertinggi diperoleh pada kadar PET 8%, yaitu sebesar 65°C atau meningkat sebesar 32,65% terhadap kadar 0%. Pada kadar PET 8% memberikan perubahan paling besar terhadap variabel kontrol, yang menunjukkan bahwa penambahan PET mampu meningkatkan ketahanan aspal terhadap deformasi pada suhu tinggi serta meningkatkan kekakuan binder.

Parameter ini berhubungan langsung dengan ketahanan campuran terhadap temperatur tinggi. Peningkatan titik lembek pada aspal modifikasi, seperti dengan PET, menandakan bahwa binder lebih stabil secara termal dan tidak mudah mengalami deformasi plastis pada kondisi panas. Secara konseptual, kondisi ini dapat meningkatkan stabilitas *Marshall*, menurunkan potensi AFD, serta membantu mempertahankan kohesi agregat sehingga CL lebih terkendali. Pengaruhnya terhadap ITS dan IRS bersifat tidak langsung, yakni melalui peningkatan stabilitas struktur aspal yang mendukung kekuatan tarik dan ketahanan terhadap pengaruh air, terutama pada suhu layanan yang tinggi.

Peningkatan nilai titik lembek aspal seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) disebabkan oleh perubahan struktur mikro dan komposisi kimia binder aspal. PET merupakan polimer termoplastik dengan sifat kaku dan stabil secara termal, sehingga ketika dicampurkan ke dalam aspal, material ini berperan sebagai penguat (*reinforcing agent*) yang meningkatkan fraksi padat dalam binder. Interaksi antara PET dan fraksi maltene aspal menyebabkan berkurangnya komponen ringan yang mudah mengalir pada suhu tinggi, sementara fraksi asphaltene relatif meningkat. Kondisi tersebut mengakibatkan aspal memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk mencapai kondisi lunak.

Peningkatan nilai titik lembek aspal seiring dengan bertambahnya kadar limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) didukung penelitian sebelumnya. Seperti Penelitian yang dilakukan oleh Mahdi dkk. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan kadar PET dalam binder secara signifikan meningkatkan nilai *softening point*, yang mencerminkan kemampuan binder untuk menahan deformasi pada suhu tinggi tanpa mengalami pelunakan secara cepat. Hal serupa juga dilakukan oleh Khaleel dkk. (2023) yang menemukan bahwa penggunaan PET dalam bitumen meningkatkan titik lembeknya, sehingga aspal menjadi lebih tahan terhadap panas dan perubahan suhu.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, seluruh nilai titik lembek aspal termodifikasi PET masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Artinya, dari sisi ketahanan terhadap suhu tinggi, semua variasi kadar PET masih layak digunakan sebagai bahan pengikat. Namun, jika dinilai menggunakan Spesifikasi SNI 6749:2008 yang memiliki persyaratan lebih ketat untuk aspal modifikasi polimer, hanya aspal dengan kadar PET 6% dan 8% yang memenuhi nilai titik lembek yang dipersyaratkan. Nilai titik lembek pada kadar PET 2% dan 4% belum memenuhi diindikasikan bahwa dominasi frasksi maltene dalam aspal masih besar serta pengaruh PET masih belum terlalu berpengaruh besar. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar PET dapat memperbaiki ketahanan panas aspal, sehingga pada kadar yang lebih tinggi sifat termal binder menjadi lebih stabil.

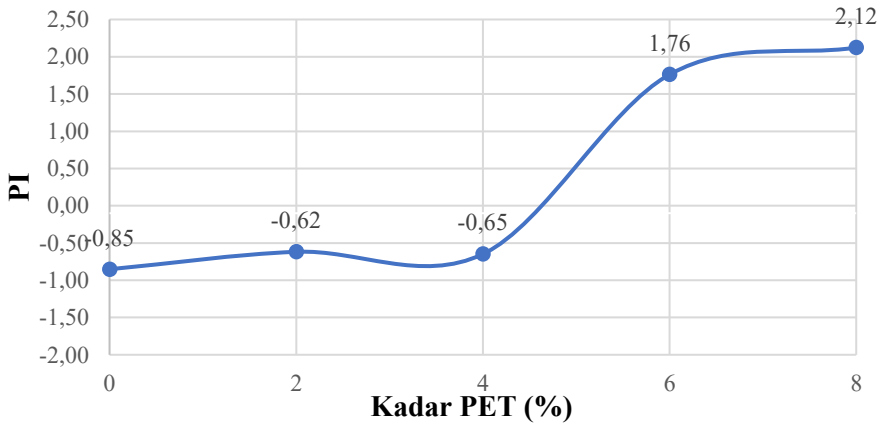
7. Kelarutan *Trichloroethylene* (TCE)

Pada pengujian kelarutan menggunakan *Trichloroethylene* (TCE), tujuan utama pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat kemurnian aspal dengan cara mengukur persentase aspal yang larut dalam pelarut organik. Hasil pengujian pada kadar 0% *Polyethylene Terephthalate* (PET) menunjukkan nilai kelarutan sebesar 99%, yang menandakan bahwa aspal dasar yang digunakan memiliki tingkat kemurnian tinggi dan masih memenuhi kriteria sebagai aspal murni.

Sementara itu, pada kadar penambahan PET sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8%, pengujian kelarutan TCE tidak dilaksanakan. Hal ini disebabkan karena pada kondisi tersebut aspal telah dimodifikasi dengan limbah plastik PET, sehingga secara definisi tidak lagi dikategorikan sebagai aspal murni.

8. *Penetration Index* (PI)

Penetration Index (PI) merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan suhu. Nilai PI diperoleh dari hubungan antara nilai penetrasi dan titik lembek, sehingga dapat menggambarkan stabilitas konsistensi aspal pada variasi temperatur. Semakin tinggi nilai PI, semakin rendah sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu dan semakin baik kestabilannya pada kondisi pemanasan.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar PET dengan PI

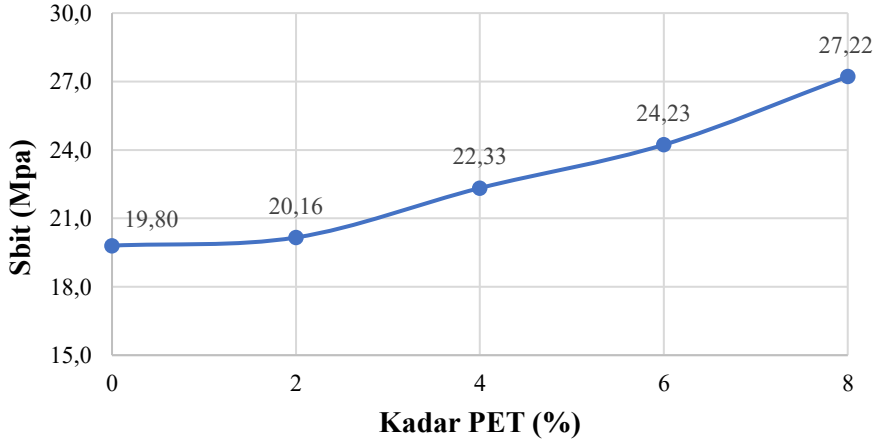
Nilai PI menunjukkan perubahan seiring dengan peningkatan kadar PET dari 0% hingga 8%. Nilai PI awal pada kadar PET 0% sebesar –0,85, kemudian meningkat menjadi –0,62 pada kadar 2%. Pada kadar 4% terjadi sedikit penurunan

menjadi –0,65, namun perubahan yang sangat signifikan terjadi pada kadar 6% dengan nilai PI meningkat tajam menjadi 1,76, dan kembali meningkat pada kadar 8% hingga mencapai 2,12. Secara keseluruhan, nilai PI mengalami peningkatan yang sangat besar dari kondisi awal hingga kadar PET 8%. Peningkatan paling drastis terjadi pada rentang 4% ke 6%, yang menunjukkan perubahan karakteristik binder yang cukup signifikan.

Peningkatan nilai PI tersebut menunjukkan bahwa penambahan PET menyebabkan aspal menjadi lebih stabil terhadap perubahan temperatur. Hal ini terjadi karena partikel PET yang terdispersi di dalam binder meningkatkan kekakuan dan viskositas aspal sehingga pergerakan molekul dalam binder menjadi lebih terbatas. Kondisi ini menyebabkan nilai penetrasi cenderung menurun dan titik lembek meningkat, sehingga rentang temperatur kerja aspal menjadi lebih luas. Dengan demikian, peningkatan PI mengindikasikan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan PET memiliki sensitivitas temperatur yang lebih rendah dan kinerja yang lebih stabil ketika mengalami perubahan suhu.

9. *Stiffness Bitumen* (Sbit)

Stiffness Bitumen (Sbit) merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kekakuan atau modulus kekuatan aspal dalam menahan deformasi akibat pembebanan. Nilai ini merepresentasikan kemampuan aspal untuk mempertahankan bentuknya ketika menerima tegangan. Semakin tinggi nilai Sbit, semakin kaku aspal dan semakin besar ketahanannya terhadap deformasi permanen.



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Sbit

Grafik menunjukkan bahwa nilai Sbit meningkat seiring dengan bertambahnya kadar PET pada campuran aspal. Pada kadar PET 0% diperoleh nilai Sbit sebesar 19,804 MPa. Ketika PET ditambahkan sebesar 2%, nilai kekakuan meningkat menjadi 20,161 MPa. Peningkatan yang lebih jelas terjadi pada kadar 4%, yaitu mencapai 22,328 MPa, kemudian meningkat lagi pada kadar 6% menjadi 24,226 MPa, dan mencapai nilai tertinggi pada kadar 8% sebesar 27,218 MPa.

Peningkatan nilai kekakuan tersebut menunjukkan bahwa penambahan PET mampu meningkatkan sifat kaku *(stiffness)* dari aspal. Hal ini terjadi karena PET merupakan material polimer yang memiliki struktur molekul panjang dan bersifat kaku, sehingga ketika tercampur dengan aspal akan memperkuat struktur internal aspal. PET yang terdispersi dalam aspal juga dapat menyerap sebagian fraksi ringan maltene dan meningkatkan dominasi fraksi asphaltene, sehingga kekakuan aspal meningkat.

5.2.2. Karakteristik Agregat Kasar

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan, diperoleh karakteristik agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil tersebut menggambarkan sifat fisik dan mekanik agregat kasar yang berperan penting dalam menentukan kinerja campuran aspal. Karakteristik agregat kasar yang diperoleh sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian berat jenis agregat dilakukan melalui penimbangan contoh uji pada tiga kondisi, yaitu jenuh kering permukaan (BJ), kering udara (BA), dan kering oven (BK). Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai berat jenis agregat kasar sebesar 2,87. Nilai tersebut telah memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yang mensyaratkan berat jenis agregat minimum sebesar ≥ 2,50. Dengan demikian, agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini dinyatakan layak dan memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal.

2. Daya Serap Air Agregat Kasar

Kemampuan agregat dalam menyerap air ke dalam pori-porinya dievaluasi melalui pengujian penyerapan air. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai penyerapan air agregat sebesar 1,38. Nilai tersebut masih berada di bawah batas

maksimum yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≤ 3. Oleh karena itu, agregat yang digunakan dalam penelitian ini dinyatakan memenuhi persyaratan dan layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal.

3. Ketahanan Terhadap Pelepasan Butir

Pengujian pelepasan butir agregat dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan agregat terhadap proses abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles (LA). Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai keausan sebesar 15,73. Nilai tersebut masih berada jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu sebesar ≤ 40. Dengan demikian, agregat yang digunakan memiliki ketahanan aus yang baik dan telah memenuhi persyaratan mutu sebagai material perkerasan jalan.

5.2.3. Karakteristik Agregat Halus

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan, diperoleh karakteristik agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini. Karakteristik tersebut mencerminkan sifat fisik agregat halus yang berpengaruh terhadap workability, kepadatan, serta kemampuan pengikatan antara agregat dan aspal dalam campuran. Karakteristik agregat halus yang diperoleh sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus dilakukan dengan menimbang contoh uji pada tiga kondisi, yaitu jenuh kering permukaan (BJ), terendam air (BA), dan kering oven (BK). Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai berat jenis agregat halus sebesar 2,60. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yang menetapkan berat jenis minimum agregat sebesar ≥ 2,50. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini dinyatakan layak untuk digunakan sebagai bahan penyusun campuran perkerasan.

2. Daya Serap Air Agregat Halus

Kemampuan agregat halus dalam menyerap air ke dalam pori-porinya dievaluasi melalui pengujian penyerapan air. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai penyerapan air agregat halus sebesar 2,4. Nilai tersebut masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga

2018 Revisi 2, yaitu ≤ 3. Kondisi ini menunjukkan bahwa agregat halus memiliki tingkat porositas yang relatif rendah serta kualitas material yang baik untuk digunakan dalam campuran perkerasan jalan.

3. *Sand Equivalent (SE)*

Pengujian *Sand Equivalent (SE)* dilakukan untuk mengetahui kadar kotoran halus, seperti debu dan lumpur, yang terdapat pada agregat halus. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai SE sebesar 72,74, jauh di atas batas minimum yang ditetapkan Bina Marga 2018 revisi 2, yaitu ≥ 50. Hasil ini mengindikasikan bahwa agregat halus memiliki kemurnian tinggi dan sedikit mengandung material pengotor.

4. Kadar *Filler*

Pengujian kadar filler dilakukan untuk mengetahui fraksi agregat untuk membantu pengisian rongga antar butir agregat telah memenuhi, fraksi ini berasal dari agregat halus yang lolos saringan No. 200. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh 2,62 yang mengidikasikan bahwa fraksi telah memiliki kemurnian tinggi dan sedikit mengandung material pengotor.

5.2.4. Karakteristik *Marshall, CL,* dan *AFD* Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus

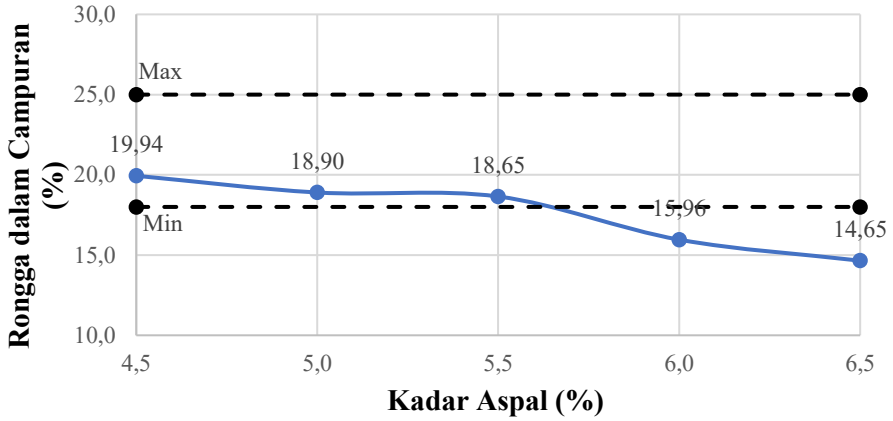
Berdasarkan ketentuan *Asphalt Pavement Association of Australia* (2004), penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran Aspal Porus didasarkan pada tiga parameter utama, yaitu karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down.* Berikut adalah pembahasan hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro Loss*, serta *Asphalt Flow Down* yang digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai KAO campuran Aspal Porus.

1. Karakteristik *Marshall*

   a. *Void in Total Mix* (VITM)

      VITM merupakan persentase rongga udara yang terdapat di dalam campuran aspal setelah proses pemadatan. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan tingkat kepadatan campuran serta keseimbangan antara agregat, aspal, dan rongga udara di dalam campuran. Nilai VITM yang terlalu besar menunjukkan bahwa campuran memiliki rongga udara yang tinggi

sehingga berpotensi menurunkan durabilitas akibat masuknya air terlalu banyak dan udara, sedangkan nilai VITM yang terlalu kecil dapat menyebabkan *bleeding* karena kelebihan aspal. Hasil parameter VITM pada penelitian ini selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

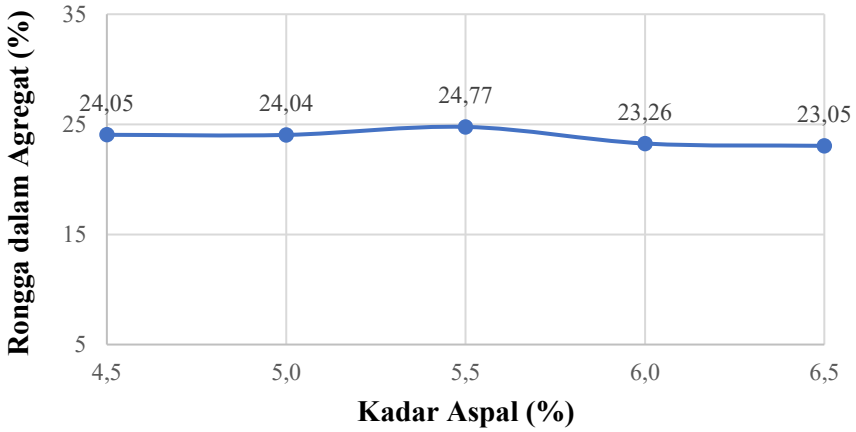


Gambar 5.12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VITM

Berdasarkan Gambar 5.10, nilai VITM menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai VITM tercatat sebesar 19,94% pada kadar aspal 4,5%, kemudian turun menjadi 18,90% pada kadar 5,0%, 18,65% pada kadar 5,5%, 15,96% pada kadar 6,0%, dan mencapai nilai terendah sebesar 14,65% pada kadar aspal 6,5%. Ketentuan AAPA (2004), nilai VITM yang disyaratkan untuk campuran aspal porus berada dalam rentang 18-25. Berdasarkan hasil tersebut, nilai VITM pada rentang kadar aspal 6% dan 6,5% belum memenuhi spesifikasi.

b. *Void In Mineral Agregate* (VMA)

VMA merupakan persentase rongga udara yang terdapat di antara butir-butir agregat dalam suatu campuran aspal setelah dipadatkan, Nilai parameter VMA dipengaruhi oleh susunan butir agregat, gradasi, serta tingkat kepadatan campuran. Pada campuran dengan gradasi terbuka seperti aspal porus, nilai VMA cenderung lebih besar karena jarak antar agregat relatif lebih renggang. Hasil parameter VWA pada penelitian ini selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.

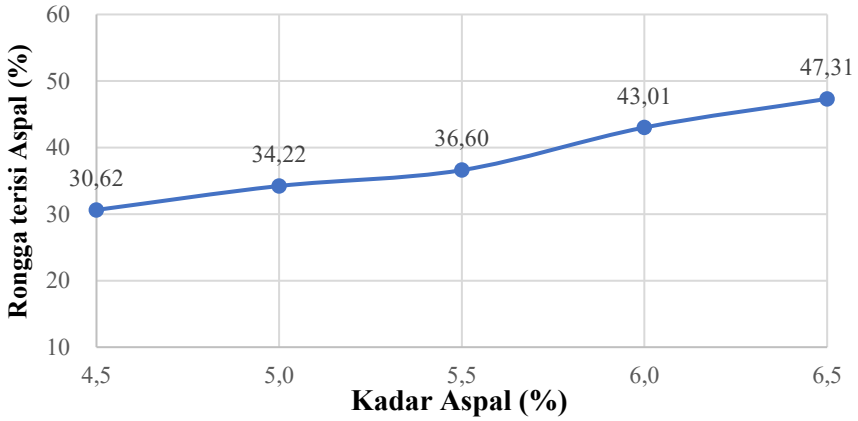


Gambar 5.13 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Berdasarkan Gambar 5.11, nilai VMA pada campuran menunjukkan perubahan yang relatif kecil terhadap variasi kadar aspal. Pada kadar aspal 4,5%, nilai VMA tercatat sebesar 24,05%, kemudian sedikit menurun menjadi 24,04% pada kadar aspal 5,0%. Nilai VMA selanjutnya meningkat dan mencapai nilai maksimum sebesar 24,77% pada kadar aspal 5,5%. Setelah melewati kadar tersebut, nilai VMA mengalami penurunan menjadi 23,26% pada kadar aspal 6,0% dan kembali menurun menjadi 23,05% pada kadar aspal 6,5%. Peningkatan nilai VMA hingga kadar aspal 5,5% menunjukkan bahwa struktur rangka agregat masih terbuka sehingga menyediakan ruang pori yang cukup di antara butir agregat. Namun, pada kadar aspal yang lebih tinggi, penurunan nilai VMA terjadi akibat bertambahnya aspal yang mengisi rongga di antara agregat, sehingga ruang pori dalam campuran menjadi berkurang.

c. *Void Filled with Asphalt* (VFWA)

VFWA merupakan persentase rongga yang terisi oleh aspal dalam campuran. Parameter ini menunjukkan seberapa besar rongga antar agregat yang berhasil diisi oleh aspal sebagai bahan pengikat. Nilai VFWA yang tinggi menandakan bahwa aspal telah mengisi rongga agregat secara optimal sehingga meningkatkan kohesi dan daya ikat campuran. Hasil parameter VFWA pada penelitian ini selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.

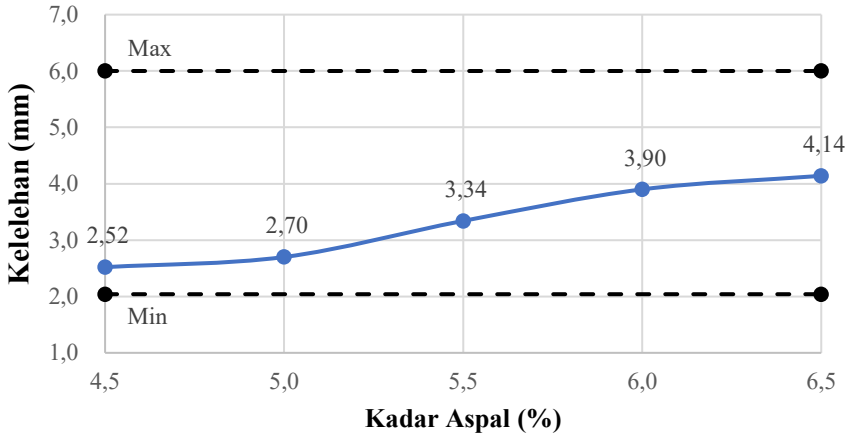


Gambar 5.14 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFWA

Berdasarkan Gambar 5.12, nilai WFWA menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Pada kadar aspal 4,5%, nilai WFWA sebesar 30,62%, kemudian meningkat menjadi 34,22% pada kadar 5,0% dan 36,60% pada kadar 5,5%. Selanjutnya, pada kadar aspal 6,0% nilai WFWA meningkat menjadi 43,01% dan mencapai nilai tertinggi sebesar 47,31% pada kadar aspal 6,5%. Peningkatan nilai WFWA ini menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal menyebabkan semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal.

d. Kelelehan *(Flow)*

Flow merupakan parameter yang menggambarkan besarnya perubahan bentuk vertikal benda uji pada saat beban maksimum tercapai. Pengujian *Flow* bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kelenturan campuran aspal dalam menerima beban lalu lintas. Nilai *Flow* yang terlalu rendah menunjukkan bahwa campuran bersifat kaku dan kurang mampu berdeformasi, sedangkan nilai *Flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran mudah mengalami perubahan bentuk atau deformasi plastis. Hasil pengujian *Flow* pada penelitian ini selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.

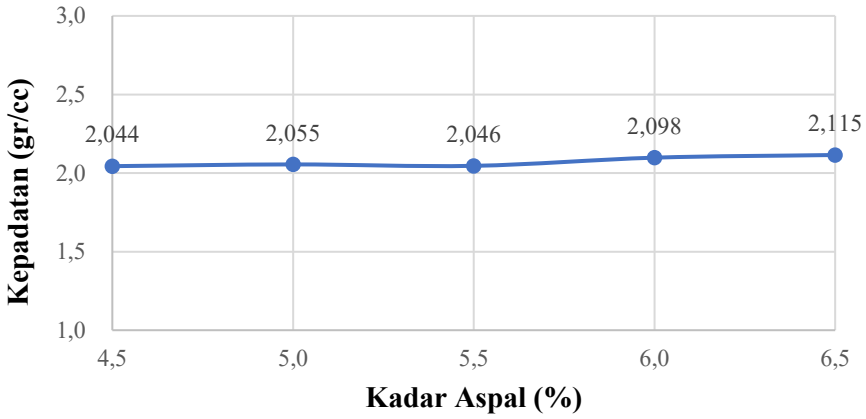


Gambar 5.15 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelehan

Berdasarkan Gambar 5.11, nilai *flow* menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai *flow* tercatat sebesar 2,52 mm pada kadar aspal 4,5%, kemudian meningkat menjadi 2,70 mm pada kadar 5,0%, 3,34 mm pada kadar 5,5%, 3,90 mm pada kadar 6,0%, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 4,14 mm pada kadar aspal 6,5%. Ketentuan AAPA (2004), nilai *flow* yang disyaratkan untuk campuran aspal porus berada dalam rentang 2-6 mm. Berdasarkan hasil tersebut, seluruh nilai *flow* pada rentang kadar aspal 4,5% hingga 6,5% masih memenuhi batas spesifikasi

e. Kepadatan *(Density)*

Kepadatan didefinisikan sebagai berat isi campuran beraspal dalam kondisi padat setelah mengalami proses pemadatan. Parameter densitas bertujuan untuk mengetahui tingkat kerapatan total campuran. Hasil parameter kepadatan pada penelitian ini selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.

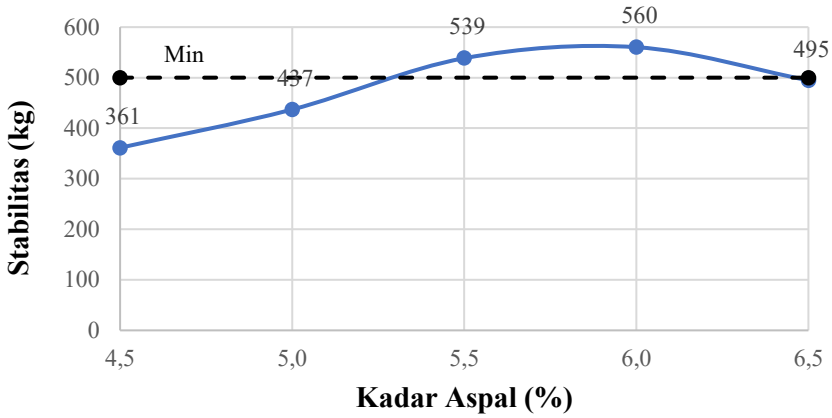


Gambar 5.16 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan

Berdasarkan Gambar 5.14, terlihat bahwa nilai densitas cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai densitas pada kadar aspal 4,5% sebesar 2,044 gr/cc, kemudian meningkat menjadi 2,055 gr/cc pada kadar 5,0%, dan relatif stabil pada kadar 5,5% sebesar 2,046 gr/cc. Selanjutnya, pada kadar aspal 6,0% dan 6,5% nilai densitas meningkat masing-masing menjadi 2,098 gr/cc dan 2,115 gr/cc. eningkatan densitas ini menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal mampu mengisi rongga antar agregat secara lebih efektif, sehingga campuran menjadi lebih rapat.

f. Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk yang hingga mencapai kondisi kelelehan plastis. Parameter ini bertujuan untuk menentukan besarnya beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji *Marshall* sebelum mengalami kegagalan plastis.Hasil pengujian stabilitas pada penelitian ini selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.

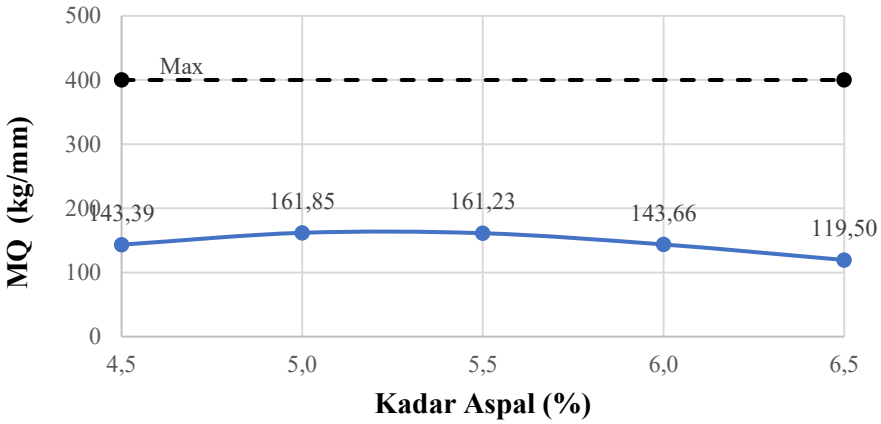


Gambar 5.17 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.15, terlihat bahwa nilai stabilitas campuran aspal porus mengalami perubahan seiring dengan peningkatan kadar aspal. Pada kadar aspal 4,5%, nilai stabilitas tercatat sebesar 361 kg, kemudian meningkat menjadi 437 kg pada kadar aspal 5,0%. Nilai stabilitas selanjutnya terus meningkat hingga mencapai 539 kg pada kadar aspal 5,5% dan mencapai nilai maksimum sebesar 560 kg pada kadar aspal 6,0%. Namun demikian, pada kadar aspal 6,5% nilai stabilitas mengalami penurunan menjadi 495 kg. Ketentuan AAPA (2004), nilai stabilitas minimum yang disyaratkan untuk campuran aspal porus adalah 500 kg. Berdasarkan hasil tersebut, campuran dengan kadar aspal 5,5% dan 6,0% telah memenuhi persyaratan stabilitas, sedangkan pada kadar aspal 4,5%, 5,0%, dan 6,5% belum memenuhi batas minimum yang ditetapkan.

g. *Marshall Quontient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai *Flow* pada pengujian *Marshall*. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan tingkat kekakuan serta ketahanan campuran aspal terhadap deformasi permanen akibat beban lalu lintas. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan campuran yang lebih kaku dan memiliki ketahanan deformasi yang baik, sedangkan nilai MQ yang rendah mengindikasikan campuran yang lebih lentur. Hasil parameter MQ pada penelitian ini selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.

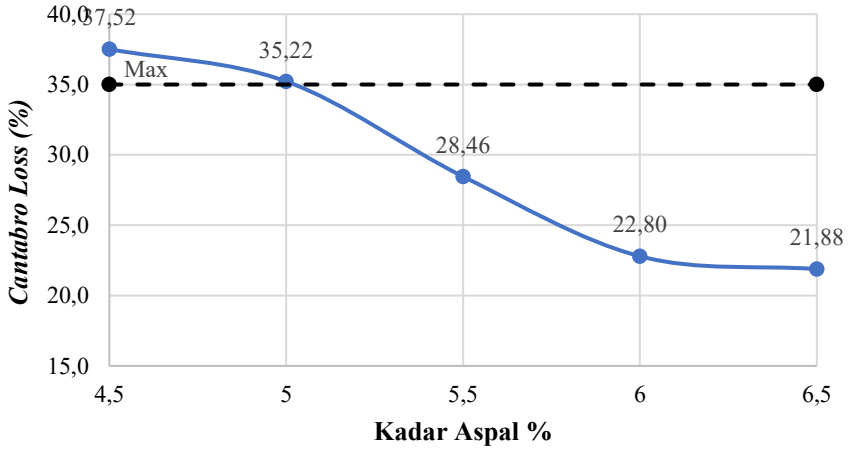


Gambar 5.18 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan MQ

Berdasarkan Gambar 5.16, nilai MQ menunjukkan peningkat dan penurunan pada kadar tertentu seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai MQ tercatat sebesar 143,39 kg/mm pada kadar aspal 4,5%, kemudian meningkat menjadi 161,85 kg/mm pada kadar 5,0%, turun menjadi 161,23 kg/mm pada kadar 5,5%, 143,66 kg/mm pada kadar 6,0%, dan terus turun sebesar 119,50 kg/mm pada kadar aspal 6,5%. Ketentuan AAPA (2004), maksimum MQ yang disyaratkan untuk campuran aspal porus adalah 400 kg/mm. Berdasarkan hasil tersebut, seluruh nilai MQ masih memenuhi batas spesifikasi.

2. Karakteristik *Cantabro Loss* (CL)

Pengujian *Cantabro Loss* (CL) bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran aspal dalam mempertahankan bentuk serta beratnya terhadap keausan dan pelepasan butiran agregat menggunakan mesin Loss Angeles. CL merupakan salah satu parameter utama dalam penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal porus dengan spesifikasi AAPA (2004), dengan batas maksimum nilai yang diizinkan sebesar kurang dari 35%. Hasil pengujian CL pada penelitian ini selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.

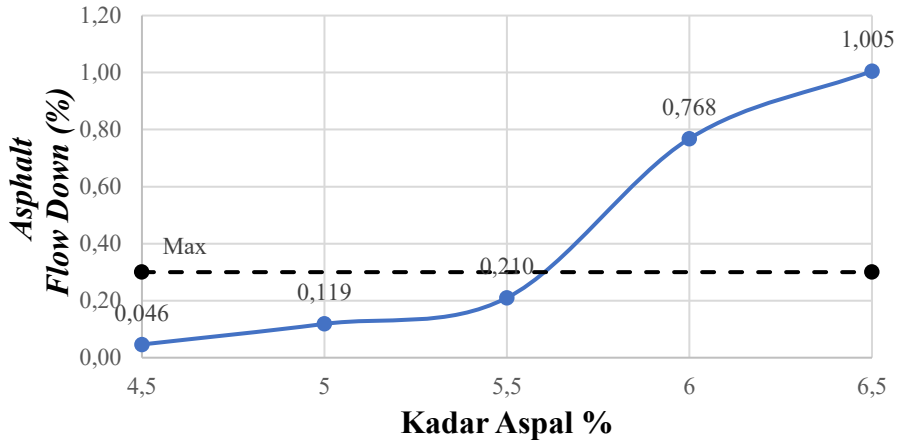


Gambar 5.19 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Cantabro Loss*

Berdasarkan Gambar 5.17, nilai *Cantabro Loss* menunjukkan Penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal pada campuran aspal porus. Pada kadar aspal 4,5%, nilai CL tercatat sebesar 37,52%, kadar 5% sebesar 35,22% yang berarti belum memenuhi persyaratan AAPA (2004) karena melebihi batas maksimum yang diizinkan, yaitu 35%. Selanjutnya sudah memenuhi syarat pada kadar aspal 5,5% nilai CL mengalami penurunan menjadi 28,46%, dan 22,80% pada kadar aspal 6,0%, kemudian terus menurun menjadi 21,88% pada kadar 6,5%. Penurunan nilai CL ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal, kemampuan campuran dalam mempertahankan butiran agregat semakin baik.

3. Karakteristik *Asphalt Flow Down* (AFD)

Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD) bertujuan untuk menentukan batas maksimum kadar aspal yang dapat bercampur secara homogen dengan agregat tanpa mengalami pemisahan aspal. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui jumlah aspal efektif yang berperan dalam menyelimuti agregat di dalam campuran, sehingga mampu meningkatkan kemampuan campuran aspal porus. Berdasarkan ketentuan AAPA (2004), nilai AFD yang yang disyaratkan adalah kurang dari 0,3%. Hasil pengujian AFD selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.20 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Asphalt Flow Down*

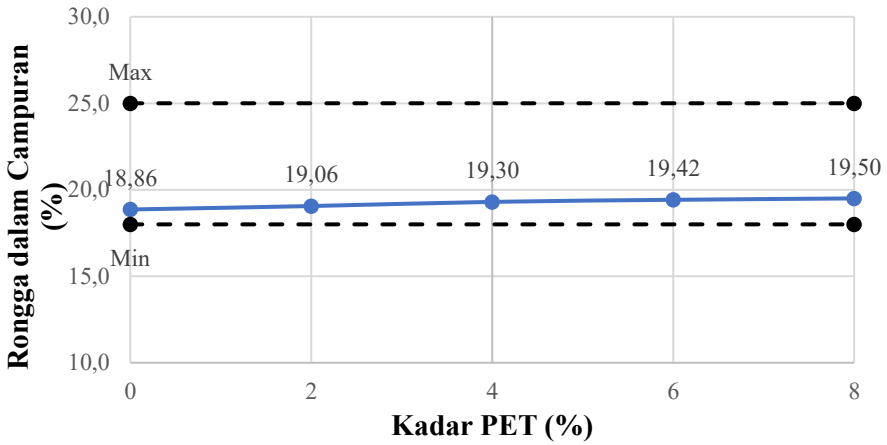
Berdasarkan Gambar 5.18, nilai *Asphalt Flow Down* pada campuran aspal porus menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Pada kadar aspal 4,5% hingga 5,5%, nilai AFD masih relatif rendah, masing-masing sebesar 0,0859%, 0,0914%, dan 0,1619%, serta masih berada di bawah batas maksimum yang disyaratkan oleh AAPA (2004) yakni ≤ 3. Namun, pada kadar aspal 6,0% nilai AFD meningkat menjadi 0,4819% dan terus bertambah hingga mencapai 0,6019% pada kadar aspal 6,5%. Nilai tersebut telah melampaui batas syarat yang diizinkan.

5.2.5. Karakteristik *Marshall* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja campuran. Parameter yang dianalisis dalam uji *Marshall* meliputi *Void in the Total Mix* (VITM), *Void Filled with Asphalt* (VFWA), *Voids in Mineral Aggregate* (VMA), kelelehan *(flow)*, kepadatan *(density)*, stabilitas *(stability),* serta *Marshall Quotient* (MQ). Karakteristik *Marshall* campuran aspal porus dengan penambahan PET dan menggunakan spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA,2004) disajikan pada Gambar 5.19 sampai dengan Gambar 5.25.

1. *Void in Total Mix* (VITM)

Void in the Total Mix (VITM) merupakan persentase rongga udara yang tersisa di dalam campuran beraspal setelah pemadatan, yang mencerminkan tingkat kerapatan campuran. Pada aspal porus, VITM berfungsi sebagai parameter utama kemampuan drainase dan keseimbangan antara kekuatan struktural dan porositas. Nilai VITM yang terlalu rendah akan menurunkan kemampuan aliran air dan meningkatkan risiko bleeding, sedangkan nilai yang terlalu tinggi akan melemahkan kohesi dan mempercepat kerusakan akibat beban dan air. Hasil parameter VITM ditunjukkan pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.21 Grafik Hubungan Kadar PET dengan VITM

Berdasarkan Gambar 5.19, nilai VITM menunjukkan tren meningkat secara bertahap seiring bertambahnya kadar PET. Pada kadar PET 0% nilai VITM tercatat sebesar 18,86%, kemudian meningkat menjadi 19,06% pada 2% PET, 19,30% pada 4% PET, 19,42% pada 6% PET, dan mencapai 19,50% pada kadar PET 8%. Seluruh nilai tersebut berada dalam rentang spesifikasi AAPA (2004) untuk campuran aspal porus, yaitu 18–25%, sehingga semua variasi kadar PET yang diuji masih memenuhi persyaratan porositas struktural.

Peningkatan VITM dapat dikaitkan dengan kenaikan nilai titik lembek karena titik lembek yang lebih tinggi menunjukkan aspal lebih kaku dan lebih tahan terhadap pelunakan pada suhu tinggi. Peningkatan VITM akibat penambahan PET terjadi karena partikel PET yang terdispersi di dalam binder meningkatkan kekakuan dan viskositas aspal, sehingga kemampuan aspal untuk mengalir dan

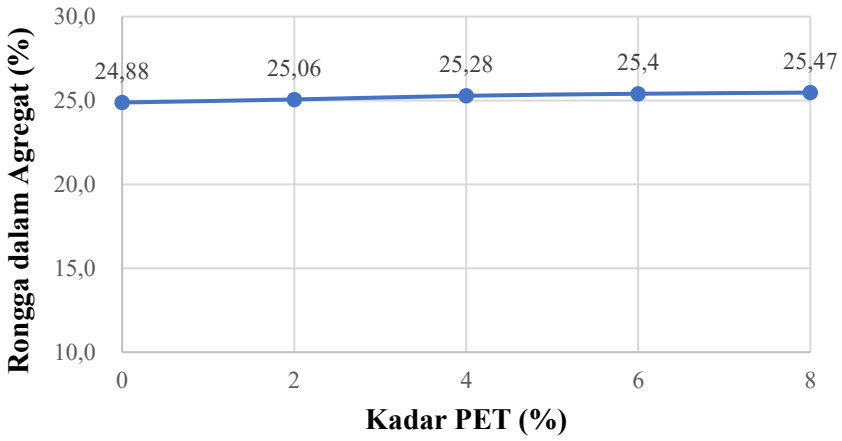
mengisi rongga antar agregat menjadi lebih terbatas. Selain itu, PET yang tidak sepenuhnya larut menghambat pergerakan binder ke ruang - ruang kecil antar butiran agregat. Akibatnya, sebagian rongga tetap terbuka dan menghasilkan nilai VITM yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa PET.

Penelitian oleh Odunfa dkk. (2025) menunjukkan bahwa pada campuran aspal yang dimodifikasi dengan PET, keberadaan partikel polimer meningkatkan luas permukaan internal campuran dan menghambat distribusi aspal yang merata, sehingga kemampuan pemadatan berkurang dan nilai rongga dalam campuran VITM dan VMA cenderung meningkat. Penelitian serupa dilakukan oleh Arifin dkk. (2024) menunjukkan bahwa penambahan PET menyebabkan terbentuknya jaringan polimer di dalam matriks aspal yang membatasi mobilitas binder, sehingga aspal tidak mampu mengisi rongga agregat secara optimal dan berakibat pada meningkatnya porositas campuran.

Dengan demikian, berdasarkan karakteristik VITM dan ketentuan AAPA (2004), seluruh variasi PET hingga 8% masih layak digunakan, namun kadar 4 - 6% PET dapat dianggap paling seimbang karena mampu meningkatkan porositas fungsional tanpa mengorbankan stabilitas struktural campuran.

2. *Void In Mineral Agregate* (VMA)

Voids in Mineral Aggregate (VMA) merupakan persentase volume rongga yang terdapat di antara butiran agregat dalam suatu campuran beraspal, yang mencakup rongga yang terisi aspal serta rongga udara. Parameter ini sangat penting karena menggambarkan ruang yang tersedia bagi binder untuk membentuk selimut aspal di sekitar agregat. Pada campuran aspal porus atau campuran dengan modifikasi polimer, nilai VMA berperan besar dalam menentukan kemampuan pelapisan agregat dan durabilitas campuran. Hasil parameter VMA ditunjukkan pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.22 Grafik Hubungan Kadar PET dengan VMA

Berdasarkan hasil pengujian, nilai VMA menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar PET, yaitu dari 24,88% pada kadar 0% sebagai kondisi kontrol menjadi 25,06% pada kadar 2%, 25,28% pada kadar 4%, 25,40% pada kadar 6%, dan mencapai 25,47% pada kadar 8%. Tren ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar PET yang ditambahkan ke dalam campuran, semakin besar rongga antar agregat yang terbentuk di dalam struktur campuran.

Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa 0% PET, nilai VMA meningkat sebesar 0,72% pada kadar 2%, 1,61% pada kadar 4%, 2,09% pada kadar 6%, dan 2,37% pada kadar 8%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa PET mempengaruhi struktur campuran dengan menciptakan ruang pori yang lebih besar di antara butiran agregat.

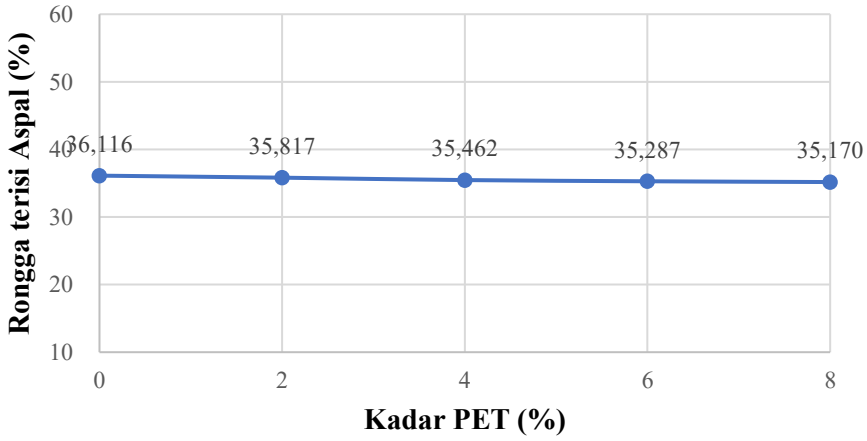
Peningkatan VMA dapat dikaitkan dengan kenaikan titik lembek dan penetrasi kekakuan binder akibat penambahan PET, di mana binder yang lebih kaku dan lebih viskos membatasi kemampuannya untuk menyelimuti serta menyesuaikan diri terhadap susunan agregat. Partikel PET yang terdispersi dan tidak sepenuhnya larut di dalam aspal juga dapat mengganggu distribusi binder di antara butiran agregat, sehingga struktur kerangka agregat menjadi sedikit kurang rapat. Akibatnya, volume rongga dalam agregat (VMA) cenderung meningkat dibandingkan campuran tanpa PET, meskipun pengaruhnya relatif kecil.

Penelitian oleh Odunfa dkk. (2025) yang menunjukkan bahwa penambahan PET dalam campuran aspal meningkatkan luas permukaan internal dan mengurangi kemampuan pemadatan, sehingga rongga campuran (VMA dan VITM) meningkat. Penelitian serupa dilakukan oleh Fahmy dkk. (2024) yang melaporkan bahwa jaringan polimer PET yang terbentuk di dalam matriks aspal membatasi mobilitas binder dan menghambat pengisian rongga agregat, sehingga struktur campuran menjadi lebih berpori dan nilai VMA cenderung naik.

Dengan demikian, peningkatan nilai VMA dari 24,88% menjadi 25,47% menunjukkan bahwa penambahan PET memperbesar ruang pori dalam struktur campuran. Kondisi ini berkontribusi langsung terhadap penurunan nilai VFWA dan peningkatan VITM.

3. *Void Filled with Asphalt* (VFWA)

*Void Filled with Asphalt (*VFWA) menggambarkan persentase rongga dalam agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif. Semakin tinggi nilai VFWA, semakin besar proporsi rongga agregat yang berhasil diisi oleh binder, sehingga ikatan antar agregat menjadi lebih baik dan campuran lebih rapat. Hasil parameter VFWA ditunjukkan pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.23 Grafik Hubungan Kadar PET dengan VFWA

Berdasarkan hasil pengujian, nilai VFWA menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan kadar PET, yaitu dari 36,116% pada kadar 0% sebagai variabel kontrol menjadi 35,817% pada kadar 2%, kemudian turun menjadi 35,462% pada kadar 4%, 35,287% pada kadar 6%, dan mencapai nilai terendah

35,170% pada kadar 8%. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar PET, semakin kecil proporsi rongga agregat yang dapat diisi oleh aspal efektif.

Jika dibandingkan kondisi tanpa 0% PET, nilai VFWA pada kadar 2% mengalami penurunan sebesar 0,83%, pada kadar 4% turun 1,81%, pada kadar 6% turun 2,30%, dan pada kadar 8% turun 2,62%. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan PET mengurangi kemampuan aspal untuk mengisi rongga di dalam struktur agregat.

Penurunan nilai VFWA pada campuran dengan penambahan PET dapat dijelaskan melalui peningkatan kekakuan (penetrasi) dan titik lembek aspal yang menyebabkan aspal menjadi lebih viskos dan kurang mampu mengisi rongga dalam struktur agregat secara efektif. Seiring meningkatnya VMA dan VITM akibat keterbatasan aliran serta penetrasi binder ke celah-celah mikro antar agregat, persentase rongga agregat yang terisi aspal (VFWA) cenderung menurun. Partikel PET yang terdispersi di dalam binder tidak sepenuhnya larut, melainkan membentuk jaringan polimer yang kaku dan bersifat hidrofobik. Jaringan ini meningkatkan luas permukaan internal campuran sekaligus menghambat mobilitas aspal cair untuk mengalir dan mengisi rongga agregat secara optimal.

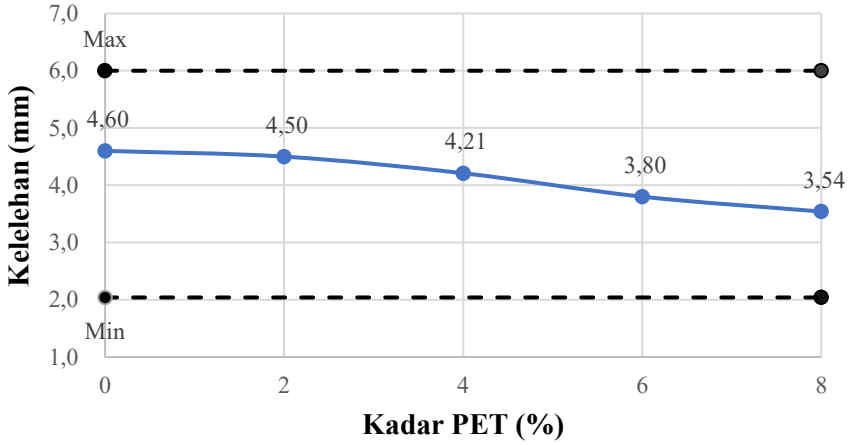
Penelitian oleh Odunfa dkk. (2025) yang menunjukkan bahwa pada campuran aspal yang dimodifikasi dengan PET, keberadaan partikel polimer meningkatkan luas permukaan internal campuran dan menghambat distribusi aspal yang merata, sehingga kemampuan pemadatan berkurang dan nilai rongga dalam campuran (VITM dan VMA) cenderung meningkat. Penelitian serupa dilakukan oleh Arifin dkk. (2024) yang melaporkan bahwa penambahan PET menyebabkan terbentuknya jaringan polimer di dalam matriks aspal yang membatasi mobilitas binder, sehingga aspal tidak mampu mengisi rongga agregat secara optimal. Kondisi ini secara langsung menjelaskan penurunan nilai VFWA pada data penelitian ini, karena meningkatnya VMA dan VITM menyebabkan proporsi rongga yang terisi oleh aspal efektif menjadi semakin kecil.

Dengan demikian, kecenderungan penurunan nilai VFWA dari 36,116% menjadi 35,170% mengindikasikan bahwa pada kadar PET tinggi, meskipun

campuran menjadi lebih kaku dan stabil, efektivitas binder dalam mengisi rongga agregat berkurang, meskipun demikian, pengaruhnya umumnya tidak terlalu besar.

4. Kelelehan *(Flow)*

Kelelehan merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya deformasi plastis campuran aspal pada saat mencapai beban maksimum. Nilai *flow* menggambarkan tingkat kelenturan dan kemampuan campuran untuk berdeformasi tanpa mengalami retak. Campuran dengan *flow* terlalu rendah bersifat getas dan mudah retak, sedangkan *flow* yang terlalu tinggi menunjukkan campuran terlalu plastis dan berpotensi mengalami deformasi permanen *(rutting)*. Hasil parameter *flow* ditunjukkan pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.24 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Kelelehan

Berdasarkan Gambar 5.22, nilai *flow* campuran aspal porus dengan penambahan PET menunjukkan kecenderungan menurun secara bertahap seiring dengan peningkatan kadar PET. Pada kadar PET 0%, nilai *flow* tercatat sebesar 4,60 mm, kemudian menurun menjadi 4,50 mm pada kadar PET 2%, 4,21 mm pada 4%, 3,80 mm pada 6%, dan mencapai nilai terendah 3,54 mm pada kadar PET 8%. Seluruh nilai *flow* tersebut masih berada dalam rentang spesifikasi AAPA (2004), yaitu antara 2 - 6 mm, sehingga secara teknis campuran masih memenuhi persyaratan kelenturan.

Jika dibandingkan dengan PET 0%, penambahan PET 2% menyebabkan *flow* turun dari 4,60 mm menjadi 4,50 mm atau berkurang sekitar 2,17%. Pada kadar PET 4%, *flow* menurun menjadi 4,21 mm atau berkurang 8,48%. Penurunan pada

kadar PET 6% dengan nilai *flow* 3,80 mm atau turun 17,39%, dan penurunan maksimum terjadi pada kadar PET 8% sebesar 3,54 mm, yang setara dengan penurunan 23,04% dibandingkan kondisi tanpa PET. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar PET, semakin rendah kemampuan deformasi plastis campuran.

Nilai *flow* berhubungan langsung dengan sifat plastisitas dan fleksibilitas aspal, khususnya yang direpresentasikan oleh nilai penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. *Flow* mencerminkan kemampuan campuran untuk mengalami deformasi sebelum terjadi keruntuhan pada beban maksimum. Jika penetrasi tinggi dan daktilitas besar, aspal cenderung lebih lunak dan plastis sehingga nilai *flow* meningkat karena campuran lebih mudah berubah bentuk. Sebaliknya, jika penetrasi, daktilitas menurun dan titik lembek meningkat aspal lebih kaku dan stabil terhadap suhu tinggi, nilai *flow* akan cenderung menurun karena deformasi plastis menjadi lebih terbatas. Dengan demikian, *flow* berkaitan erat dengan keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas aspal dalam campuran beraspal.

Penurunan nilai *flow* ini disebabkan oleh peningkatan kekakuan binder akibat interaksi PET dengan aspal. PET yang terdispersi di dalam aspal tidak sepenuhnya larut, tetapi mengalami pemembentukan jaringan polimer mikro yang memperkuat binder. Struktur ini meningkatkan viskositas dan modulus elastis aspal, sehingga aspal menjadi lebih kaku dan kurang mampu mengalami deformasi saat dibebani. Akibatnya, ketika benda uji *Marshall* menerima beban, deformasi maksimum yang terjadi lebih kecil, yang tercermin pada nilai *flow* yang menurun.

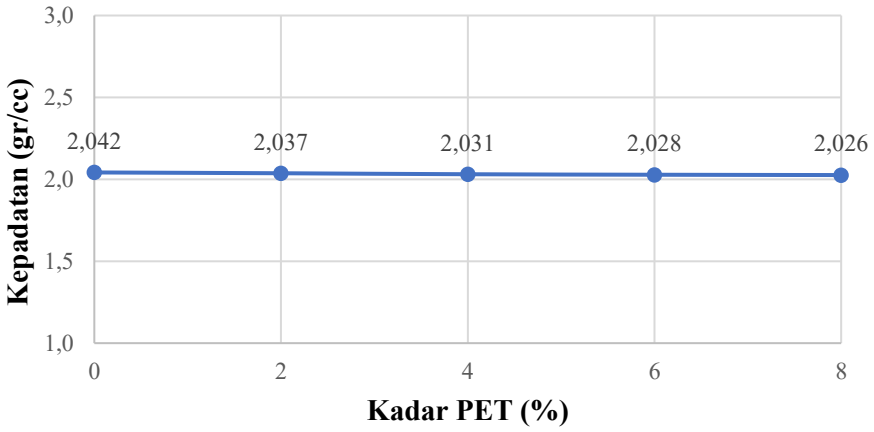
Penurunan nilai *flow* dan peningkatan stabilitas pada campuran aspal modifikasi PET sejalan dengan temuan dalam penelitian oleh Indrasto dkk. (2020), yang menunjukkan bahwa PET memengaruhi kedua parameter tersebut secara signifikan, dengan stabilitas meningkat sementara *flow* mengalami penurunan pada variasi kadar tertentu. Selain itu, penelitian oleh Mabui dkk. (2022) pada campuran aspal porus juga menemukan bahwa penambahan PET meningkatkan nilai stabilitas *Marshall*, menunjukkan bahwa PET mampu memperkuat struktur internal campuran sehingga meningkatkan ketahanan terhadap deformasi mekanis. Temuan serupa dilaporkan dalam studi oleh Ahmad & Ahmad (2023) yang menyatakan

bahwa PET modifikasi menghasilkan campuran yang lebih kaku dan memiliki *flow* yang lebih terkendali.

Berdasarkan hasil ini, penggunaan PET hingga kadar 6% masih direkomendasikan karena nilai *flow* tetap berada dalam batas spesifikasi dan menunjukkan keseimbangan yang baik antara kekakuan dan fleksibilitas. Pada kadar 8%, meskipun masih memenuhi spesifikasi, penurunan *flow* yang cukup besar mengindikasikan kecenderungan campuran menjadi lebih kaku dan berpotensi lebih rentan terhadap retak pada kondisi beban berulang.

5. Kepadatan *(Density)*

Kepadatan *(density)* merupakan berat isi campuran aspal padat setelah pemadatan, yang mencerminkan tingkat kerapatan susunan agregat dan efektivitas pengisian rongga oleh aspal. Parameter ini digunakan untuk menilai kualitas struktur internal campuran, karena semakin tinggi nilai *density* menunjukkan campuran yang semakin rapat dan memiliki rongga udara yang lebih kecil. Hasil parameter kepadatan ditunjukkan pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.25 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Kepadatan

Berdasarkan hasil pengujian, nilai kepadatan campuran aspal porus termodifikasi PET menunjukkan kecenderungan menurun tetapi tidak terlalu besar seiring dengan bertambahnya kadar PET. Pada kondisi kontrol PET 0%, nilai *density* tercatat sebesar 2,042 gr/cm³. Ketika PET ditambahkan sebesar 2%, nilai *density* menurun menjadi 2,037 gr/cm³ atau berkurang sekitar 0,24% dibandingkan kondisi awal. Penurunan ini berlanjut pada kadar 4% dengan nilai 2,031 gr/cm³

(turun 0,54%), pada kadar 6% menjadi 2,028 gr/cm³ (turun 0,69%), dan mencapai nilai terendah pada kadar 8% yaitu 2,026 gr/cm³ atau mengalami penurunan sebesar 0,78% terhadap kadar PET 0%. Data tersebut menunjukkan bahwa kadar PET 8% memberikan pengaruh paling besar dalam menurunkan kepadatan campuran. Besarnya penurunan tersebut relatif kecil kurang dari 1%, sehingga meskipun terjadi penurunan, perubahan nilai kepadatan dapat dikatakan tidak besar secara struktural, dan campuran masih mempertahankan tingkat kerapatan yang baik.

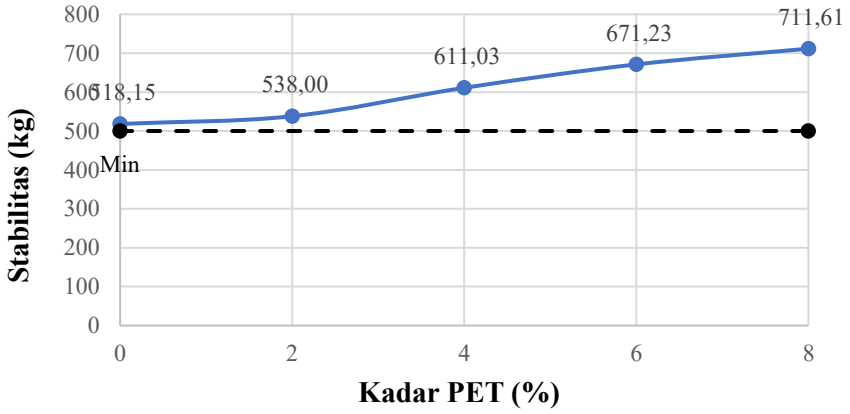
Penurunan kepadatan campuran berhubungan dengan hasil pengujian sifat fisik aspal seperti penetrasi, dan titik lembek yang mencerminkan tingkat kekakuan aspal. Ketika hasil pengujian menunjukkan penetrasi menurun dan titik lembek meningkat, aspal menjadi lebih kaku dan lebih viskos, sehingga kemampuannya untuk mengalir, melapisi agregat, dan membantu pergerakan antar butiran saat pemadatan menjadi terbatas. Kondisi ini menghambat proses pemadatan campuran dan menyebabkan sebagian rongga udara tidak tertutup secara optimal, sehingga nilai kepadatan cenderung menurun.

Penurunan nilai *density* ini berkaitan erat dengan meningkatnya nilai VMA dan menurunnya VFWA pada campuran yang mengandung PET. PET yang terdispersi di dalam binder meningkatkan viskositas aspal dan membentuk jaringan polimer yang kaku, sehingga kemampuan aspal untuk mengalir dan mengisi rongga antar agregat menjadi terbatas. Akibatnya, selama proses pemadatan, sebagian rongga tidak terisi secara optimal oleh aspal, sehingga volume udara di dalam campuran meningkat dan nilai kepadatan total menurun. Penelitian Movilla-Quesadadkk. (2023) yang menunjukkan bahwa meskipun PET meningkatkan porositas internal, penurunan kepadatan umumnya bersifat gradual dan tidak ekstrem.

Dengan demikian, penurunan nilai *density* pada penelitian ini mencerminkan adanya peningkatan porositas akibat modifikasi PET, namun besarnya perubahan yang relatif kecil menunjukkan bahwa struktur campuran secara umum masih stabil dan cukup rapat.

6. Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas merupakan parameter utama dalam pengujian *Marshall* yang digunakan untuk menggambarkan kemampuan campuran aspal dalam menahan beban maksimum sebelum terjadi kegagalan struktural. Parameter ini merepresentasikan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen, geser, dan keruntuhan akibat beban lalu lintas. Semakin tinggi nilai stabilitas, semakin besar kemampuan campuran dalam mempertahankan integritas strukturnya ketika menerima beban kendaraan, sehingga stabilitas sering dijadikan indikator utama kekuatan struktural perkerasan beraspal. Hasil parameter stabilitas ditunjukkan pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.26 Grafik Hubungan Kadar PET dengan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.24, nilai stabilitas campuran aspal porus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar limbah PET. Pada kadar PET 0% sebagai variabel kontrol, nilai stabilitas tercatat sebesar 508,15 kg. Selanjutnya, pada kadar PET 2% stabilitas meningkat menjadi 538,00 kg, kemudian bertambah pada kadar 4% menjadi 611,03 kg. Peningkatan berlanjut pada kadar PET 6% dengan nilai 671,23 kg, dan mencapai nilai tertinggi pada kadar PET 8% sebesar 711,61 kg.

Seluruh nilai stabilitas tersebut berada di atas batas minimum yang disyaratkan oleh AAPA (2004) sebesar 500 kg, sehingga memenuhi kriteria kelayakan campuran. Kecenderungan peningkatan stabilitas ini menunjukkan bahwa penambahan PET mampu memperkuat ikatan antara aspal dan agregat, serta

meningkatkan kekakuan dan ketahanan campuran terhadap beban. Dengan meningkatnya kadar PET, struktur internal aspal menjadi lebih kaku dan lebih mampu menahan deformasi plastis, sehingga campuran aspal porus memiliki daya dukung yang semakin baik.

Jika dibandingkan terhadap kondisi awal 0% PET, stabilitas meningkat seiring dengan penambahan PET. Penambahan PET sebesar 2% meningkatkan stabilitas sebesar 5,87%, sedangkan pada 4% PET kenaikan mencapai 20,26%. Pada kadar 6%, stabilitas meningkat sebesar 32,08%, dan pada kadar 8% terjadi peningkatan maksimum sebesar 40,04% dibandingkan campuran tanpa PET. Hal ini menunjukkan bahwa PET berperan dalam memperkuat struktur campuran aspal porus.

Peningkatan nilai stabilitas *Marshall* dipengaruhi oleh penurunan nilai penetrasi dan peningkatan nilai titik lembek aspal. Penurunan nilai penetrasi menunjukkan bertambahnya kekakuan aspal, sehingga kemampuan campuran aspal dalam menahan beban meningkat. Sementara itu, peningkatan nilai titik lembek mencerminkan stabilitas termal aspal yang lebih baik pada suhu tinggi, yang berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan campuran terhadap deformasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Liao (2025), yang menyatakan bahwa kombinasi penurunan penetrasi dan kenaikan titik lembek pada aspal termodifikasi berperan dalam meningkatkan stabilitas campuran beraspal.

Peningkatan nilai stabilitas ini disebabkan oleh kemampuan PET dalam memperkuat struktur internal aspal. Pada proses pencampuran suhu tinggi, PET mengalami pelelehan dan tercampur ke dalam aspal, sehingga membentuk jaringan polimer yang meningkatkan kohesi aspal. PET juga membantu meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat, sehingga gaya ikat antar butir agregat menjadi lebih kuat. Kombinasi antara peningkatan kekakuan aspal dan kuatnya ikatan agregat aspal inilah yang menyebabkan campuran mampu menahan beban lebih besar sebelum mengalami kegagalan, yang tercermin dari meningkatnya nilai stabilitas.

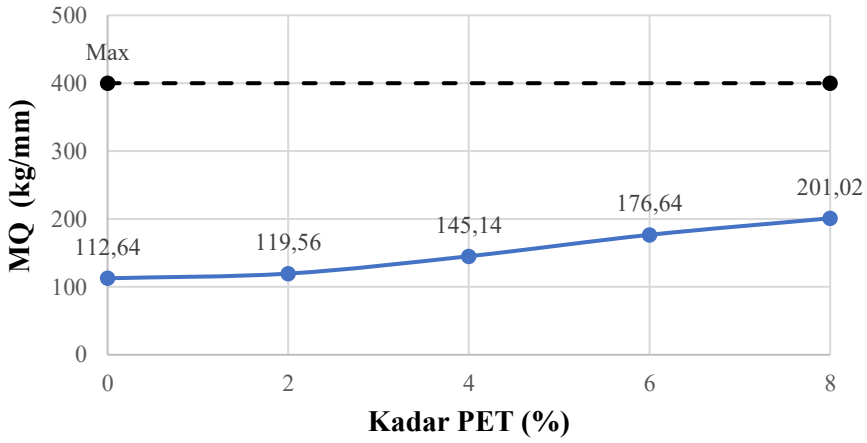
Penelitian oleh Mouwlaka dkk. (2024), yang menyatakan bahwa penggunaan plastik PET sebagai bahan tambah dalam campuran aspal dapat meningkatkan stabilitas *Marshall*. Penelitian serupa dilakukan oleh Indrasto dkk.

(2020), melaporkan bahwa PET berperan sebagai modifier polimer yang memperkuat struktur internal aspal dan mengurangi deformasi plastis, sehingga nilai stabilitas meningkat seiring bertambahnya kadar PET hingga batas tertentu.

Dengan demikian, berdasarkan Gambar 5.19 dan analisis parameter *Marshall* dapat disimpulkan bahwa penambahan PET efektif meningkatkan stabilitas campuran aspal porus, terutama karena kemampuannya dalam memperkuat campuran dan memperbaiki ikatan antar agregat. Kadar PET yang lebih tinggi memberikan peningkatan stabilitas yang lebih besar, meskipun dalam perancangan campuran tetap perlu mempertimbangkan batasan maksimum penambahan juga parameter lain yang harus sesuai spesifikasi teknis yang digunakan.

7. *Marshall Quontient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan parameter yang mengambarkan tingkat kekakuan (*stiffness*) dan ketahanan deformasi plastis suatu campuran, yang dihitung sebagai perbandingan antara stabilitas *Marshall* terhadap nilai kelelehan *(flow)*. Secara umum, nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran mampu menahan beban besar dengan deformasi yang relatif kecil, sehingga memiliki ketahanan *rutting* dan deformasi permanen yang lebih baik. Hasil parameter MQ ditunjukkan pada Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5.27 Grafik Hubungan Kadar PET dengan MQ

Berdasarkan Gambar 5.25, nilai MQ campuran aspal porus yang dimodifikasi PET menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya kadar PET. Pada kadar PET

0%, nilai MQ tercatat sebesar 112,64 kg/mm, kemudian meningkat menjadi 119,56 kg/mm pada kadar 2%, 145,14 kg/mm pada 4%, 176,64 kg/mm pada 6%, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 201,02 kg/mm pada kadar PET 8%.

Jika dibandingkan terhadap kondisi awal PET 0%, peningkatan MQ pada kadar PET 2% adalah sebesar 6,15%, meningkat menjadi 28,86% pada PET 4%, 56,82% pada PET 6%, dan mencapai 78,45% pada PET 8%. Hasil ini menunjukkan bahwa PET berpengaruh terhadap peningkatan kekakuan campuran, dengan peningkatan paling besar terjadi pada kadar PET tinggi.

MQ meningkat seiring penurunan penetrasi dan kenaikan titik lembek karena aspal yang lebih kaku menghasilkan stabilitas lebih tinggi dan nilai *flow* lebih rendah, sehingga rasio antara stabilitas terhadap deformasi menjadi lebih besar. Peningkatan nilai MQ ini terjadi karena mekanisme penguatan binder agregat akibat keberadaan PET. Plastik PET yang terdispersi di dalam aspal membentuk jaringan polimer semi - kaku yang memperkuat struktur binder, meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat, serta menurunkan kemampuan campuran untuk mengalami deformasi plastis. Peningkatan stabilitas dan penurunan nilai *flow* menghasilkan nilai MQ yang semakin tinggi seiring bertambahnya kadar PET.

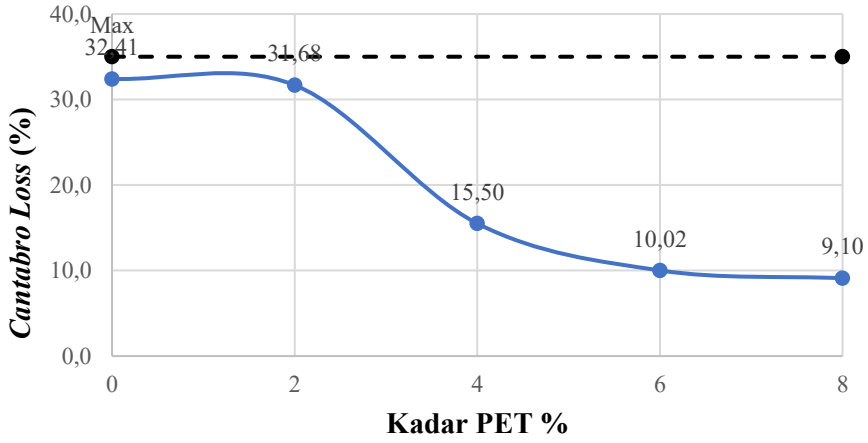
Penelitian Mashaan dkk. (2021) menemukan bahwa nilai *Marshall Quotient* meningkat pada campuran beraspal yang termodifikasi dengan plastik. Selain itu, Nurfitria dkk. (2025) juga melaporkan peningkatan serupa pada berbagai kadar PET dalam campuran, di mana variasi kadar PET menunjukkan bahwa pengaruh PET terhadap *MQ* tidak bersifat linier, tetapi mengalami peningkatan optimal.

Berdasarkan hasil tersebut, kadar PET hingga 6% - 8% terbukti mampu memberikan peningkatan terhadap nilai MQ dan ketahanan deformasi campuran.

5.2.6. Karakteristik *Cantabro Loss* (CL) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Cantabro Loss (CL) merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui kemampuan campuran aspal porus dalam mempertahankan ikatan antar butir agregat terhadap beban dan tumbukan. Nilai CL yang lebih rendah menunjukkan bahwa agregat lebih kuat terikat oleh aspal, sehingga campuran memiliki ketahanan aus dan durabilitas yang lebih baik. Dalam spesifikasi AAPA (2004), nilai CL untuk

aspal porus disyaratkan tidak melebihi 35%. Hasil pengujian CL ditunjukkan pada Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.28 Grafik Hubungan Kadar PET dengan *Cantabro Loss*

Berdasarkan Gambar 5.26, nilai CL menunjukkan penurunan seiring bertambahnya kadar PET dalam campuran. Pada kondisi tanpa PET 0%, nilai CL tercatat sebesar 32,41%, yang masih memenuhi batas maksimum AAPA tetapi berada dekat dengan batas maksimum. Pada kadar PET 2%, nilai CL sedikit menurun menjadi 31,68%, menunjukkan peningkatan awal campuran. Penurunan yang jauh lebih besar terjadi pada kadar PET 4% dengan nilai 15,50%, kemudian terus menurun menjadi 10,02% pada kadar PET 6%, dan mencapai nilai terendah sebesar 9,10% pada kadar PET 8%.

Jika dibandingkan terhadap kondisi awal PET 0%, penurunan CL pada kadar PET 2% sebesar 2,25%, meningkat besar menjadi 52,17% pada kadar PET 4%, 69,10% pada kadar PET 6%, dan mencapai 71,92% pada kadar PET 8%. Data ini menunjukkan bahwa pengaruh PET terhadap peningkatan ketahanan dan aus bersifat sangat kuat, dengan lonjakan yang besar mulai terlihat sejak kadar PET 4%.

Cantabro Loss cenderung menurun dengan penambahan PET karena hasil pengujian aspal menunjukkan penurunan penetrasi dan peningkatan kekakuan serta kohesi binder, sehingga ikatan antar agregat lebih kuat dan campuran lebih tahan terhadap pelepasan butir akibat abrasi dan tumbukan. Penurunan *Cantabro Loss* ini akibat penambahan PET ke dalam aspal. Partikel PET yang terdispersi dalam aspal membentuk jaringan polimer yang memperkuat binder, meningkatkan viskositas

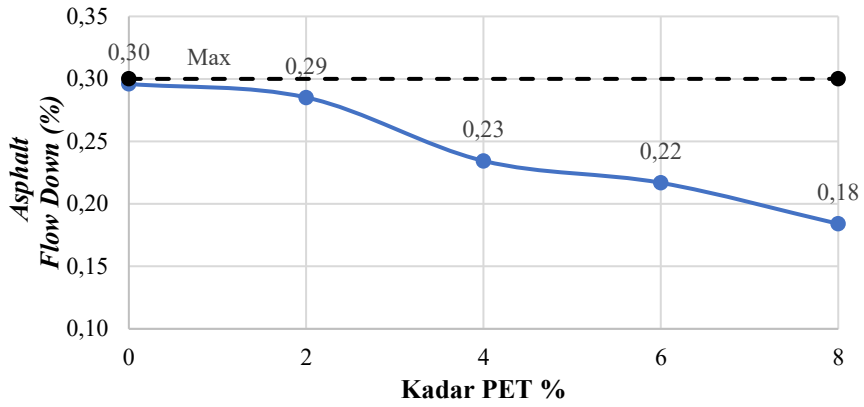
dan kohesi, Kondisi ini meningkatkan adhesi aspal agregat dan mengurangi kemungkinan terlepasnya butiran agregat akibat tumbukan selama pengujian.

Penjelasan diatas sejalan dengan temuan pada penelitian yang di lakukan oleh Arif dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa penurunan nilai *Cantabro Loss* akibat penambahan bahan tambah polimer menyebabkan meningkatnya ketahanan campuran aspal terhadap disintegrasi. Nilai *Cantabro Loss* yang lebih rendah mencerminkan kemampuan campuran yang lebih baik dalam mempertahankan ikatan antarbutir agregat ketika menerima tumbukan dan beban berulang. Selain itu, Harahap dkk. (2023) menunjukkan bahwa campuran aspal porus yang dimodifikasi dengan plastik PET memiliki durabilitas yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa PET. Peningkatan durabilitas ini dikaitkan dengan kemampuan PET dalam memperkuat ikatan antar partikel.

Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa kadar PET ≥ 4% sudah memberikan peningkatan yang sangat besar terhadap ketahanan raveling campuran aspal porus, dengan nilai CL jauh di bawah batas maksimum AAPA (2004). Kadar PET 6% - 8% memberikan performa terbaik dari sisi durabilitas terhadap keausan, meskipun tetap perlu dipertimbangkan parameter lain.

5.2.7. Karakteristik *Asphalt Flow Down* (AFD) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Asphalt Flow Down (AFD) merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan terjadinya aliran turun *(drain-down)* aspal pada campuran aspal porus akibat pengaruh gravitasi dan suhu tinggi sebelum pemadatan. Secara fungsional, AFD merepresentasikan kemampuan aspal untuk tetap melekat dan menyelimuti agregat secara homogen tanpa terpisah selama proses pencampuran dan penghamparan. Nilai AFD yang rendah menunjukkan stabilitas aspal yang lebih baik. Hasil pengujian CL ditunjukkan pada Gambar 5.27 berikut.



Gambar 5.29 Grafik Hubungan Kadar PET dengan *Asphalt Flow Down*

Berdasarkan Gambar 5.27, nilai AFD menunjukkan menurun secara konsisten seiring dengan peningkatan kadar PET. Pada kadar PET 0%, nilai AFD tercatat sebesar 0,30%, kemudian sedikit menurun menjadi 0,29% pada PET 2%. Penurunan yang lebih besar terjadi pada PET 4% dengan nilai 0,23%, dilanjutkan menjadi 0,22% pada PET 6%, dan mencapai nilai terendah sebesar 0,18% pada PET 8%. Seluruh nilai tersebut berada di bawah batas maksimum yang direkomendasikan oleh AAPA (2004), yaitu ≤ 0,30%, yang menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran masih memenuhi persyaratan aliran aspal.

Jika dibandingkan terhadap kondisi kontrol PET 0%, penurunan nilai AFD pada PET 2% adalah sekitar 3,3%, meningkat menjadi 23,3% pada PET 4%, 26,7% pada PET 6%, dan mencapai 40,0% pada PET 8%. Penurunan ini mengindikasikan bahwa penambahan PET meningkatkan kemampuan aspal untuk bertahan di permukaan agregat tanpa mengalami aliran berlebih.

Penurunan nilai AFD berkaitan langsung dengan perubahan sifat fisik aspal yang tercermin pada hasil uji penetrasi dan titik lembek. Nilai penetrasi yang menurun menunjukkan bahwa konsistensi aspal menjadi lebih keras dan kaku akibat meningkatnya kohesi internal antar molekul pengikat. Sementara itu, kenaikan titik lembek mengindikasikan bahwa aspal memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk mulai melunak, sehingga ketahanannya terhadap deformasi pada suhu tinggi semakin baik. Kombinasi kedua parameter tersebut menyebabkan viskositas aspal meningkat dan mobilitas fraksi ringan di dalam matriks aspal berkurang. Kondisi ini membuat aspal lebih stabil secara termal dan tidak mudah mengalami

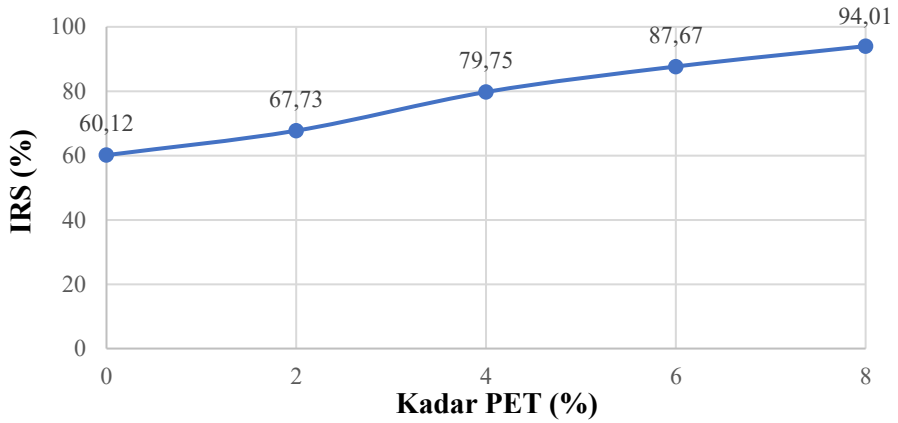
aliran akibat pengaruh gravitasi pada campuran bergradasi terbuka. Oleh karena itu, penurunan nilai AFD mencerminkan peningkatan stabilitas dan ketahanan campuran terhadap potensi *drain down* atau *bleeding* pada temperatur tinggi.

Penelitian oleh Arif dkk. (2023) menunjukkan bahwa penurunan nilai *Asphalt Flow Down* mencerminkan berkurangnya kecenderungan aspal untuk mengalami kelelehan dan aliran turun selama proses pemanasan. Semakin kecil nilai AFD, semakin stabil aspal yang menyelimuti agregat, sehingga aspal tidak mudah terlepas atau mengalir dari permukaan agregat ketika ditempatkan pada media uji seperti aluminium foil. Nazmey dkk. (2024) juga melaporkan bahwa penggunaan polimer pada campuran aspal porus meningkatkan stabilitas termal dan kinerja fungsional campuran. Kondisi ini menegaskan bahwa keberadaan polimer mampu menstabilkan aspal di sekitar agregat, sekaligus mempertahankan fungsi drainase campuran aspal porus.

Berdasarkan hasil ini, kadar PET hingga 8% terbukti memberikan pengaruh positif terhadap stabilitas aspal dalam campuran aspal porus dengan menurunkan nilai AFD dan tetap memenuhi persyaratan AAPA (2004). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan PET tidak hanya meningkatkan kinerja campuran, tetapi juga memperbaiki kestabilan selama proses produksi dan aplikasi lapangan.

5.2.8. Karakteristik *Index Retained Strenght* (IRS) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Index Retained Strength (IRS) merupakan parameter utama untuk mengevaluasi ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan akibat air (moisture damage). Nilai IRS menyatakan persentase stabilitas *Marshall* setelah perendaman dibandingkan dengan kondisi normal. Semakin tinggi nilai IRS, semakin baik daya tahan aspal agregat terhadap efek air dan kelembaban. Hasil pengujian IRS ditunjukkan pada Gambar 5.28 berikut.



Gambar 5.30 Grafik Hubungan Kadar PET dengan IRS

Berdasarkan grafik 5.28, nilai IRS campuran aspal porus meningkat secara seiring dengan penambahan PET. Pada kondisi tanpa PET 0%, nilai IRS tercatat sebesar 60,12%, yang menunjukkan bahwa campuran relatif rentan terhadap pelepasan ikatan akibat air. Ketika PET ditambahkan sebesar 2%, nilai IRS meningkat menjadi 67,73%, lalu naik menjadi 79,75% pada kadar 4%, 87,67% pada 6%, dan mencapai 94,01% pada kadar PET 8%. Ini menunjukkan bahwa PET meningkatkan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat suhu dan air.

Jika dibandingkan dengan campuran tanpa PET, peningkatan IRS mencapai sekitar 12,7% pada PET 2%, 32,6% pada PET 4%, 45,8% pada PET 6%, dan 56,4% pada PET 8%. Kenaikan ini menunjukkan bahwa efek PET terhadap daya tahan air bersifat sangat besar, dengan peningkatan paling kuat terjadi pada kadar PET menengah hingga tinggi.

Nilai IRS berhubungan dengan pengujian sifat fisik aspal seperti penetrasi, daktilitas, dan titik lembek, karena parameter - parameter ini mencerminkan kekakuan, fleksibilitas, dan stabilitas termal binder. Penurunan penetrasi dan daktilitas serta kenaikan titik lembek akibat penambahan PET menunjukkan aspal menjadi lebih kaku dan kohesif, sehingga ikatan antara aspal dan agregat lebih kuat. Kondisi ini membuat campuran lebih tahan terhadap pelepasan butir dan kerusakan akibat air, sehingga nilai IRS meningkat dan mencerminkan perbaikan ketahanan campuran terhadap efek kelembapan.

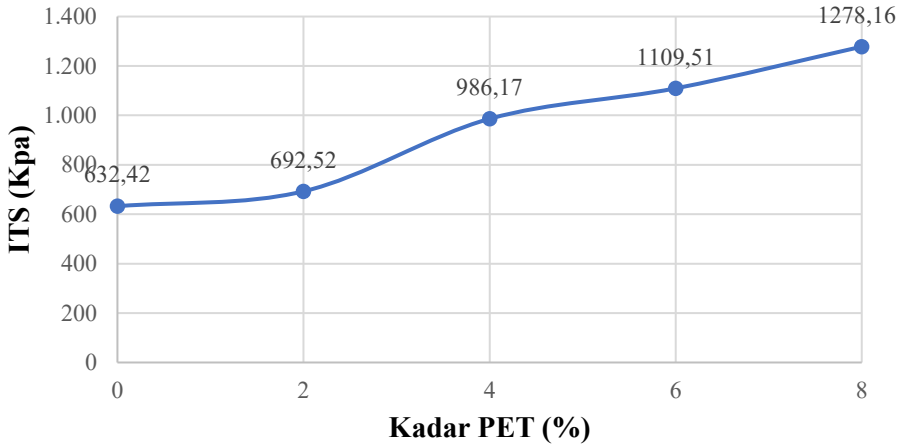
Peningkatan IRS ini terjadi karena PET memodifikasi karakteristik binder menjadi lebih hidrofobik dan lebih kaku, sehingga air lebih sulit menembus dan merusak aspal yang melapisi agregat. Partikel PET yang terdispersi di dalam aspal membentuk jaringan polimer yang memperkuat struktur binder dan meningkatkan adhesi pada aspal agregat. Selain itu, PET mengurangi fraksi maltenes yang bersifat lebih rentan terhadap air dan membuat ikatan menjadi lebih stabil dalam kondisi basah. Kinerja IRS yang meningkat ini juga berkorelasi kuat dengan penurunan *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down* yang telah diperoleh sebelumnya. Rendahnya *Cantabro Loss* menunjukkan ikatan agregat yang lebih kuat, sedangkan rendahnya AFD menandakan bahwa aspal lebih stabil dan tidak mudah mengalir. Kombinasi kedua tersebut secara langsung memperkuat ketahanan campuran terhadap air, yang tercermin pada meningkatnya nilai IRS.

Penelitian oleh Movilla-Quesada dkk. (2023) melaporkan bahwa penambahan PET pada campuran aspal meningkatkan resistance terhadap kerusakan akibat air. Selain itu, Penelitian lain oleh Agha dkk. (2023) tentang campuran HMA yang dimodifikasi PET juga menunjukkan bahwa nilai meningkat dengan bertambahnya kadar PET sampai titik optimal, yang menggambarkan peningkatan kemampuan campuran menahan efek moisture damage setelah mengalami kondisi basah.

Dengan demikian, kadar PET sebesar 6% - 8% dapat dikategorikan sebagai rentang yang memberikan perlindungan optimal terhadap kerusakan akibat kelembaban, karena nilai IRS telah melampaui 85%, yang umumnya dianggap sebagai batas campuran dengan durabilitas tinggi terhadap *moisture damage*.

5.2.9. Karakteristik *Indirect Tensile Strenght* (ITS) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET

Indirect Tensile Strength (ITS) merupakan pengujian yang menggambarkan kemampuan campuran aspal dalam menahan gaya tarik tidak langsung yang timbul akibat pembebanan lalu. Pada campuran aspal porus, nilai ITS sangat penting karena berhubungan langsung dengan kekuatan kohesi binder dan adhesi antara aspal dan agregat, yang menentukan ketahanan terhadap retak serta pelepasan butir akibat tegangan tarik. Hasil pengujian ITS ditunjukkan pada Gambar 5.29 berikut.



Gambar 5.31 Grafik Hubungan Kadar PET dengan ITS

Berdasarkan Gambar 5.29, nilai ITS campuran aspal porus yang dimodifikasi PET menunjukkan tren meningkat secara konsisten seiring bertambahnya kadar PET. Pada kondisi tanpa PET 0%, nilai ITS tercatat sebesar 632,42 kPa, kemudian meningkat menjadi 692,52 kPa pada kadar PET 2%, 986,17 kPa pada 4%, 1109,51 kPa pada 6%, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 1278,16 kPa pada kadar PET 8%. Pola ini menunjukkan bahwa penambahan PET memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik internal campuran aspal porus.

Jika dibandingkan terhadap kondisi awal PET 0%, peningkatan ITS pada kadar PET 2% mencapai sekitar 9,5%, kemudian meningkat tajam menjadi 55,9% pada PET 4%, 75,4% pada PET 6%, dan mencapai 102,1% pada PET 8%. Data ini menegaskan bahwa efek penguatan akibat PET, dengan pengaruh paling dominan terjadi pada kadar PET menengah hingga tinggi.

ITS mengukur kekuatan tarik tidak langsung campuran beraspal dalam kondisi kering, sehingga mencerminkan kemampuan campuran menahan tegangan tarik sebelum mengalami keretakan. Nilai ITS dipengaruhi oleh sifat fisik aspal seperti penetrasi, daktilitas, dan titik lembek aspal yang lebih kaku dan viskos terlihat dari penetrasi menurun dan titik lembek meningkat akibat penambahan PET meningkatkan kohesi internal antara aspal dan agregat. Akibatnya, campuran lebih

tahan terhadap deformasi tarik, sehingga nilai ITS cenderung meningkat, menunjukkan perbaikan kekuatan struktural campuran beraspal.

Peningkatan nilai ITS ini disebabkan oleh mekanisme penguatan mikrostruktur binder agregat akibat PET di dalam aspal. Partikel PET yang terdispersi berperan sebagai penguat polimerik yang meningkatkan kohesi binder dan memperkuat ikatan adhesi antara aspal dan permukaan agregat. Selain itu, PET menyerap sebagian fraksi maltene dalam aspal sehingga meningkatkan proporsi fraksi asphaltene efektif, yang menghasilkan binder dengan kekakuan dan kekuatan tarik yang lebih tinggi.

Penelitian oleh Zinnurain dkk. (2025) menunjukkan bahwa nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) pada kedua kondisi uji baik tanpa perendaman (*unconditioned*) maupun setelah perendaman (*conditioned*) dari semua variasi campuran yang diuji lebih tinggi dibandingkan dengan campuran tanpa modifikasi. Penelitian serupa oleh Movilla-Quesada (2023) menunjukkan bahwa campuran aspal yang dimodifikasi dengan PET memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam menahan tegangan tarik dibandingkan campuran konvensional. Kehadiran PET di dalam matriks aspal agregat memperkuat struktur internal campuran sehingga beban tarik yang bekerja sebelum terjadinya retak dapat ditahan secara lebih efektif.

Berdasarkan hasil ini, penambahan PET hingga kisaran 6% - 8% terbukti memberikan peningkatan terhadap kekuatan tarik internal (*dry* ITS) campuran aspal porus. Namun, peningkatan kekakuan ini tetap perlu dikontrol agar tidak mengurangi fleksibilitas dan ketahanan terhadap retak pada kondisi layanan jangka panjang.

5.2.10. Tinjauan Karakteristik Pengaruh Bahan Tambah PET Pada Campuran Aspal Porus

Berikut merupakan hasil tinjauan pada seluruh pengujian dan parameter untuk menilai aspal Pen 60/70 campuran aspal porus. Hasil tinjauan dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Pemenuhan Persyaratan Parameter Aspal Pen 60/70 terhadap Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

Pemenuhan Persyaratan Setiap Parameter					
Berat Jenis	**Penetrasi**	**Daktilitas**	**Titik Nyala**	**Titik Bakar**	**Titik Lembek**
✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 5.19 Pemenuhan Persyaratan Aspal Pen 60/70 dengan Bahan Tambah PET Terhadap Spesifikasi SNI 6749 2008

Kadar PET (%)	**Pemenuhan Persyaratan Setiap Parameter**			
	Berat Jenis	**Penetrasi**	**Titik Nyala**	**Titik Lembek**
2	✓	✓	✓	X
4	✓	✓	✓	X
6	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓

Berdasarkan data pada tabel, 5.18, seluruh parameter untuk aspal Pen 60/70 sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2. Selanjutnya Tabel 5.19, dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi kadar PET 2% sampai 8% telah memenuhi persyaratan berat jenis, penetrasi, dan titik nyala sesuai SNI 6749:2008. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan PET tidak menurunkan kualitas dasar binder dari sisi massa jenis, konsistensi, dan keamanan terhadap pemanasan. Namun, untuk parameter titik lembek, hanya aspal dengan kadar PET 6% dan 8% yang memenuhi spesifikasi SNI 6749:2008. Pada kadar PET 0% sampai 4%, nilai titik lembek masih berada di bawah batas minimum yang disyaratkan, sehingga aspal pada kadar

tersebut belum memiliki ketahanan suhu yang memadai sebagai aspal modifikasi polimer.

Tabel 5.20 Pemenuhan Persyaratan Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah PET Terhadap Spesifikasi AAPA 2004

Kadar PET (%)	Pemenuhan Persyratan Parameter Aspal Porus		
	VITM	*Cantabro Loss*	*Asphalt Flow Down*
0	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓

Keterangan:

✓ = Memenuhi

X = Tidak Memenuhi

Berdasarkan hasil Tabel 5.24, dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi penambahan bahan tambah PET, yaitu sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%, menunjukkan kinerja yang memenuhi persyaratan spesifikasi campuran aspal porus sesuai dengan AAPA (2004). Seluruh parameter utama yang disyaratkan, meliputi *Void in Total Mix* (VITM), *Cantabro Loss* (CL), dan *Asphalt Flow Down* (AFD), berada dalam batas toleransi yang ditetapkan untuk setiap kadar PET yang diuji. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan PET tidak memberikan dampak negatif terhadap karakteristik fungsional campuran aspal porus. Dengan demikian, penggunaan limbah plastik PET sebagai bahan tambah dalam campuran aspal porus dapat dinyatakan layak secara teknis serta berpotensi menjadi alternatif material inovatif yang mendukung aspek keberlanjutan lingkungan tanpa mengurangi pemenuhan spesifikasi kinerja campuran menurut standar AAPA 2004.

Tabel 5.21 Pengaruh Kadar Bahan Tambah PET Terhadap Spesifikasi Campuran Aspal Porus

Parameter	**Karakteristik Aspal Porus Spesifikasi *Asphalt Pavement Association of Australia* (2004)**
	Pengaruh Bahan Tambah PET 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%
VITM (%)	Nilai VITM meningkat secara bertahap seiring bertambahnya kadar PET, dengan persentase kenaikan maksimum sebesar 3,39% pada kadar PET 8% dibandingkan kondisi tanpa PET. Seluruh nilai VITM pada kadar 0% hingga 8% masih berada dalam rentang 18 - 25, sehingga memenuhi persyaratan Spesifikasi AAPA (2004). Peningkatan VITM yang relatif terkendali mengindikasikan bahwa struktur rongga campuran tetap terjaga sehingga fungsi drainase dan permeabilitas aspal porus tidak terganggu. untuk penerapan di lapangan, kadar PET 4% - 8% direkomendasikan sebagai kadar yang paling seimbang karena mampu meningkatkan VITM tanpa menghasilkan rongga berlebih.
Cantabro Loss (%)	Seluruh nilai *Cantabro Loss* pada kadar PET 0% hingga 8% berada di bawah batas maksimum 35%, sehingga seluruh variasi memenuhi Spesifikasi AAPA (2004). Terjadi penurunan CL yang sangat besar seiring peningkatan kadar PET, yang menunjukkan peningkatan ketahanan campuran terhadap kehilangan butir. Berdasarkan penurunan CL yang konsisten, penambahan PET 4% - 8% sangat direkomendasikan untuk campuran aspal porus karena mampu meningkatkan kohesi dan ketahanan raveling. Kadar 6% - 8% menunjukkan kinerja paling optimal dari sisi ketahanan kehilangan butir, namun pemilihan kadar akhir tetap perlu mempertimbangkan parameter lain agar keseimbangan kinerja campuran aspal porus tetap terjaga.
Asphalt Flow Down (%)	Seluruh nilai *Asphalt Flow Down* pada kadar PET 0% hingga 8% berada di bawah atau sama dengan batas maksimum 0,3%, sehingga seluruh kadar memenuhi Spesifikasi AAPA (2004). Terjadi penurunan nilai AFD yang seiring bertambahnya kadar PET, yang menunjukkan peningkatan stabilitas aspal terhadap aliran pada suhu tinggi. penambahan PET 4% - 8% direkomendasikan karena mampu meningkatkan kestabilan pengikat dan mengurangi potensi bleeding selama proses pencampuran dan penghamparan. Kadar 6% - 8% menunjukkan kinerja paling efektif dalam menekan aliran aspal.

Tabel 5.22 Perbandingan Pengaruh Kadar PET Terhadap Volumetrik Campuran Aspal Porus

Parameter	Kadar PET (%)					Keterangan
	0	2	4	6	8	
VITM	18,86	19,02	19,30	19,42	19,50	Nilai VITM yang terjadi adalah peningkatan sebesar 3,39% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET meningkatkan jumlah rongga udara dalam campuran secara bertahap namun tetap terkendali.
VMA	28,88	25,06	25,28	25,40	25,47	Nilai VMA yang terjadi adalah penurunan sebesar 11,80% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET berpengaruh terhadap berkurangnya rongga antar agregat akibat meningkatnya efisiensi pengisian rongga.
VFWA	36,12	35,82	35,46	35,29	35,17	Nilai VFWA yang terjadi adalah penurunan sebesar 2,63% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar PET, semakin kecil persentase rongga agregat yang terisi aspal.
Kepadatan	2,042	2,037	2,031	2,028	2,026	Nilai kepadatan yang terjadi adalah penurunan sebesar 0,78% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET menyebabkan campuran menjadi kurang padat seiring meningkatnya kadar bahan tambah.

Tabel 5.23 Perbandingan Pengaruh Kadar PET Terhadap Kekuatan Campuran Aspal Porus

Parameter	Kadar PET (%)					Keterangan
	0	2	4	6	8	
Stabilitas	518,15	538,00	611,03	671,23	711,61	Nilai stabilitas yang terjadi adalah peningkatan sebesar 37,35% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan campuran dalam menahan beban.
Flow	4,60	4,50	4,21	3,80	3,54	Nilai *flow* yang terjadi adalah penurunan sebesar 23,04% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih kaku dan mengalami deformasi yang lebih kecil akibat penambahan PET.
MQ	112,64	119,56	145,14	176,64	201,02	Nilai MQ yang terjadi adalah peningkatan sebesar 78,45% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET meningkatkan kekakuan dan stabilitas struktural campuran.

Lanjutan Tabel 5.28 Perbandingan Pengaruh Kadar PET Terhadap Kekuatan Campuran Aspal Porus

Parameter	Kadar PET (%)					Keterangan
	0	2	4	6	8	
ITS	632,42	692,52	986,17	1109,51	1278,16	Nilai ITS yang terjadi adalah peningkatan sebesar 102,11% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET sangat berpengaruh terhadap peningkatan ketahanan campuran terhadap gaya tarik tidak langsung dan potensi retak.

Tabel 5.24 Perbandingan Pengaruh Kadar PET Terhadap Durabilitas Campuran Aspal Porus

Parameter	Kadar PET (%)					Keterangan
	0	2	4	6	8	
IRS	60,12	67,73	79,75	87,67	94,01	Nilai IRS yang terjadi adalah peningkatan sebesar 56,37% dari kadar PET 0% ke 8%, yang menunjukkan bahwa penambahan PET berpengaruh dalam meningkatkan ketahanan campuran terhadap pengaruh air serta memperbaiki daya lekat antara aspal dan agregat

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, aspal Pen 60/70 telah memenuhi spesifikasi untuk aspal tanpa modifikasi. Jika Ditinjau berdasarkan SNI 6749:2008, kadar PET yang direkomendasikan adalah 6% - 8%. Pada kadar tersebut, seluruh parameter utama, termasuk penetrasi dan titik lembek, telah memenuhi spesifikasi SNI, serta menunjukkan peningkatan ketahanan aspal terhadap suhu tinggi.

Berdasarkan syarat campuran aspal porus menurut AAPA (2004), seluruh variasi kadar PET dari 0% hingga 8% memenuhi spesifikasi untuk parameter VITM, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Namun, dari sisi kinerja, kadar PET 4% - 8% direkomendasikan karena mampu memberikan fungsi drainase yang baik, menekan kehilangan butir, dan meningkatkan stabilitas aspal terhadap aliran pada suhu tinggi.

Ditinjau dari parameter volumetrik, yang meliputi VITM, VMA, dan VFWA, kadar PET 4% - 6% direkomendasikan karena menghasilkan keseimbangan yang baik antara struktur rongga, efisiensi pengisian agregat, dan tingkat pemadatan campuran. Pada rentang ini, perubahan karakteristik volumetrik berlangsung secara stabil dan terkendali.

Berdasarkan parameter kekuatan, yaitu stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), dan *Indirect Tensile Strength* (ITS), kadar PET 6% - 8% memberikan kinerja terbaik. Pada kadar ini, terjadi peningkatan pada stabilitas, MQ, dan ITS, disertai penurunan nilai *flow*, yang menunjukkan peningkatan kekakuan dan kemampuan campuran dalam menahan beban.

Sementara itu, ditinjau dari aspek durabilitas berdasarkan nilai *Index Retained Strength* (IRS), kadar PET 6% - 8% direkomendasikan karena menunjukkan ketahanan paling tinggi terhadap pengaruh air serta peningkatan daya lekat antara aspal dan agregat. Hal ini menegaskan bahwa penambahan PET pada kadar tersebut berkontribusi positif terhadap umur layan campuran aspal porus.

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis spesifikasi, parameter volumetrik, kekuatan, dan durabilitas, kadar *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebesar 6% direkomendasikan sebagai kadar rekomendasi dalam campuran aspal porus. Pada

kadar ini, seluruh persyaratan mengacu pada SNI 6749:2008, serta *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) terpenuhi secara konsisten.

Secara kinerja, kadar 6% menunjukkan keseimbangan paling optimal antara stabilitas struktural, karakteristik rongga, ketahanan terhadap deformasi, serta daya tahan terhadap pengaruh air. Peningkatan stabilitas, *Marshall Quotient* (MQ), dan *Indirect Tensile Strength* (ITS), disertai nilai *flow* yang terkendali, menegaskan bahwa campuran memiliki kekakuan yang memadai tanpa mengorbankan fleksibilitas. Dari aspek durabilitas, nilai *Index Retained Strength* (IRS) pada kadar ini juga menunjukkan ketahanan yang tinggi terhadap kerusakan akibat air dan kelembapan.

Dengan demikian, kadar PET 6% dapat ditetapkan sebagai kadar rekomendasi karena mampu memberikan performa teknis yang paling seimbang dan berpotensi meningkatkan umur layan campuran aspal porus secara menyeluruh.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap pengaruh bahan tambah *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada aspal Pen 60/70 untuk campuran aspal porus. dapat dirumuskan beberapa kesimpulan utama yang berkaitan dengan perubahan karakteristik aspal, perilaku volumetrik, serta kinerja mekanik dan durabilitas campuran akibat penambahan bahan tambah tersebut.

1. Penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan tambah pada campuran aspal porus berpengaruh terhadap karakteristik volumetrik dan kekuatan campuran. Penambahan PET meningkatkan kekakuan dan kemampuan campuran dalam menahan beban tanpa mengganggu keseimbangan rongga, sehingga karakteristik volumetrik dan kekuatan campuran tetap memenuhi persyaratan yang ditetapkan.
2. Penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) memberikan pengaruh positif terhadap stabilitas terhadap suhu campuran aspal porus. Campuran menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap pengaruh suhu tinggi, yang ditandai dengan menurunnya kecenderungan aliran aspal dan meningkatnya kestabilan sifat terhadap suhu campuran.
3. Penggunaan *Polyethylene Terephthalate* (PET) meningkatkan ketahanan campuran aspal porus terhadap pelepasan butir. Hal ini ditunjukkan oleh berkurangnya potensi pelepasan agregat dan meningkatnya kualitas ikatan antar agregat, sehingga campuran memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan permukaan.
4. Penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) mampu meningkatkan durabilitas campuran aspal porus. Hal ini ditunjukkan oleh meningkatnya nilai *Index Retained Strength* (IRS), yang mengindikasikan ketahanan campuran yang lebih baik terhadap pengaruh air serta meningkatnya daya

lekat antara aspal dan agregat. Peningkatan stabilitas mekanik, ketahanan termal, dan resistensi terhadap keausan tersebut menunjukkan bahwa campuran aspal porus termodifikasi PET memiliki kinerja jangka panjang yang lebih baik dibandingkan campuran tanpa bahan tambah.

Berdasarkan evaluasi menyeluruh terhadap perubahan karakteristik aspal, volumetrik, kinerja kekuatan, dan durabilitas campuran, kadar *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebesar 6% direkomendasikan sebagai kadar penambahan dalam campuran aspal porus. Pada kadar ini diperoleh keseimbangan paling baik antara kekakuan dan fleksibilitas, stabilitas dan *flow* yang terkendali, struktur rongga yang tetap memenuhi spesifikasi, serta peningkatan ketahanan terhadap suhu tinggi, pelepasan butir, dan pengaruh air. Dengan demikian, penggunaan PET sebesar 6% dinilai paling efektif dalam meningkatkan performa campuran aspal porus.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat direkomendasikan adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan pengujian tambahan untuk mengevaluasi tingkat homogenitas pencampuran PET dengan aspal, guna memastikan distribusi PET yang merata dalam pengikat serta menghindari ketidakkonsistenan sifat mekanik campuran.
2. Perlu dilakukan evaluasi metode pencampuran aspal dan PET menggunakan mixer mekanis, mengingat pada penelitian ini pencampuran masih dilakukan secara manual. Penggunaan mixer diharapkan dapat meningkatkan homogenitas dan konsistensi campuran.
3. Pengujian lebih lanjut terhadap propertis aspal dengan penambahan PET, baik sifat fisik maupun reologis, perlu dilakukan untuk menilai secara lebih mendalam besarnya pengaruh PET terhadap perilaku aspal
4. Diperlukan penelitian lanjutan terhadap parameter durabilitas melalui pengujian *Tensile Strength Ratio* (TSR) untuk menilai secara lebih

komprehensif ketahanan campuran aspal dengan PET terhadap pengaruh air, mengingat pada penelitian ini pengujian TSR belum dilakukan.

5. Disarankan untuk melakukan pengujian permeabilitas pada penelitian lanjutan guna menilai secara langsung pengaruh penambahan PET terhadap kinerja drainase campuran aspal porus.

DAFTAR PUSTAKA

AAPA. Australian Asphalt Pavement Association. (2004). *Open Graded Asphalt Design Guide*.

Agha, N., Hussain, A., Ali, A. S., & Qiu, Y. (2023). Performance evaluation of hot mix asphalt (HMA) containing polyethylene terephthalate (PET) using wet and dry mixing techniques. *Polymers*, *15*(5), 1211.

Ahmad, M. S., & Ahmad, S. A. (2022). The impact of polyethylene terephthalate waste on different bituminous designs. *Journal of Engineering and Applied Science*, *69*(1), 53.

Alwi, S., Sudibyo, A., & Herni. (2020). Pengaruh Penggunaan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran Aspal Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Inersia*, *Vol. XII No.1*.

Angkoso, J., & Fauziah, M. (2024). Perbandingan Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Australia (AAPA) dan California (CalTrans) dengan Serbuk Parutan Limbah Ban Karet. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, *Volume 2 (6)*, 60–73.

Arif, M. I., Putra, S., Herianto, D., & Sulistyorini, R. (2023). Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Limbah Plastik Polietilena Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, *11*(1), 189–202.

Arifin, M. Z., Senin, I. F., Bowoputro, H., Kore, D. M. H., Ingsih, I. S., & Putri, F. F. B. (2024). The effect of Polyethylene Terephthalate (PET) plastic addition to AC-WC in a wet mixture on increase of asphalt stability. *EUREKA: Physics and Engineering*, (2), 21–33.

Bichajlo, L., & Kolodziej, K. (2018). Porous asphalt pavement for traffic noise reduction and pavement dewatering – the pollution problem. *E3S Web of Conferences*, *Vol. 45, hlm. 00114*, EDP Sciences.

Bina Marga. (2018). *"Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2 Divisi 6 Untuk Perkerasan Aspal". Jakarta Selatan : Dinas Pekerjaan Umum.*

Fahmy, E., Youssef, A., Ali, E., Algabry, A., & Elbagalati, O. (2024). Evaluation of asphalt mixtures modified with polyethylene terephthalate (PET). *Innovative Infrastructure Solutions*, *9(11)*, 1–17.

Fikri, H., Subagja, A., & Manurung, A. S. D. (2019). Karakteristik Aspal Modifikasi dengan penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET). *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, *10*(1), 609–614.

Firda, A., Djohan, B., Jimmyanto, H., & Febrianty, D. (2022). Pengaruh Penambahan Plastik (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran Ac-Wc (Asphalt Concrete – Wearing Course) Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Deformasi*, *Volume 7-2*, 127–144.

Gaus, A., Hakim, R., & Seniyasmin. (2022). Pengaruh Penggunaan Limbah Polyethylene Terephthalate Terhadap Campuran Aspal Concrete Binder Course. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, *Vol 12, No 1*, 131–140.

Hao, G., Lim, S., He, M., Ong, G., Zulkati, A., Kapilan, S., & Tan, J. (2025). Long-term performance of porous asphalt pavement incorporating recycled plastics. *esources, Conservation and Recycling*, *212, 107979*.

Harahap, A. W. T., Putra, S., Herianto, D., & Sulistyorini, R. (2023). Durabilitas Campuran Porous Asphalt Dengan Limbah Plastik Polietilena Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, *11*(1), 99–108.

Hasrullah, Syarif, I. A., & Harwadi, F. (2023). Pemanfaatan Limbah Plastik dan Fly Ash Pada Campuran Lapisan Perkerasan Jalan. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, *4(1)*, 14–22.

Hermistanora, Putri, E. E., & Adji, B. M. (2020). Pengaruh Penggunaan Styrofoam Terhadap Parameter Kinerja Perkerasan Campuran Aspal Porus. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, *Vol. 17 No. 1*.

Indrasto, I. W. W. (2019). *Modifikasi campuran aspal dengan bahan tambah limbah gelas plastik (Polyethylene Terephthalate/Pet) ditinjau pada aspek stabilitas dan kelelehan plastis sebagai suplemen/bahan ajar mata kuliah Dasar-Dasar Konstruksi Jalan dan Jembatan*.

Joseph, T., Azat, S., Ahmadi, Z., Jazani, O., Esmaeili, A., Haponiuk, J., & Thomas, S. (2024). Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *100673*.

Khaleel, O. R., Al Gharbi, L. K. N., & Fayyadh, M. M. (2023). Enhancing bitumen properties through the utilization of waste polyethylene terephthalate and tyre rubber. *Sustainability*, *15*(12), 9298.

Liao, H., Yang, X., Yan, J., Du, X., & Lin, H. (2025). Laboratory Evaluation of Asphalt Binder and Asphalt Mixture Modified Using Styrene–Butadiene–Styrene/Rock Asphalt. *Processes*, *13*(2), 292.

Lin, S., Zeng, L., Wang, H., Usman, M., & Hedvicakova, M. (2024). The Effect of Waste Plastic on Environmental Degradation: A Corporate Perspective. *Polish Journal of Environmental Studies*, *Vol. 34, No. 1*, 203–211.

Mabui, D. S. S. (2022). *Studi Kinerja Campuran Aspal Porus dan Limbah Plastik*. Tohar Media.

Mahdi, T. W., Senadheera, S., & Ghebrab, T. (2022). Effect of PET size, content and mixing process on the rheological characteristics of flexible pavement. *Materials*, *15*(10), 3565.

Mashaan, N., Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2021). Laboratory properties of waste PET plastic-modified asphalt mixes. *Recycling*, *6*(3), 49.

Mayuni, S., Prabandiyani, & Setiadji, B. H. (2020). Penerapan perkerasan aspal berpori di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil*, *20(2)*, 108–112.

Moulaka, L. H. H. U. W., Sadillah, M., & Pandulu, G. D. (2024). PENGARUH PENGISIAN RONGGA CAMPURAN ASPAL PORUS MENGGUNAKAN LIMBAH PLASTIK PET (POLYEHYLENE THEREPHTHALATE). *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, *8*(1), 30–39.

Movilla-Quesada, D., Raposeiras, A. C., Guíñez, E., & Frechilla-Alonso, A. (2023). A Comparative Study of the Effect of Moisture Susceptibility on Polyethylene Terephthalate–Modified Asphalt Mixes under Different Regulatory Procedures. *Sustainability*, *15*(19), 14519.

Nazmey, K. G., Eisa, M. S., Morsi, A. G. M., & Debaiky, A. S. (2024). Enhancement of porous asphalt mixtures modified with various fibers and ethylene–vinyl acetate polymer. *Scientific Reports*, *14*(1), 15599.

Nurfitria, M., Anggraeni, M., & Nugroho, M. A. F. (2025). Effect of Marshall Characteristics with The Addition of Polyethylene Terephthalate (PET) Waste as a Filler Mixture in Asphalt. *Journal of World Science*, *4*(8), 1131–1144.

Odunfa, S. O., Osungbesan, A. M., Abiola, O. S., Igba, U. T., Gbadewole, O. A., & Adetiloye, A. (2025). Performance of recycled polyethylene terephthalate (pet) waste plastic modified bitumen in hot mix asphalt production. *Journal of Road and Traffic Engineering*, *71*(2), 19–26.

Ogundana, A. (2023). Waste Plastic in Road Construction, Pathway to a Sustainable Circular Economy: A Review. *E3S Web of Conferences*, *Vol. 391, hlm. 01116*, EDP Sciences.

Polacco, G., Stastna, J., Biondi, D., & Zanzotto, L. (2006). Relation between polymer architecture and nonlinear viscoelastic behavior of modified asphalts. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, *11*(4), 230–245. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cocis.2006.09.001

Sa'dillah, M., Oktaviastuti, B., Pandulu, G., Arifianto, A., & Ndima, S. (2024). Performance of Porous Asphalt Mixture Using HDPE (High Density Polyethylene) Plastic Additives. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, *Volume 13 No 1*, 57–66.

Siddiqui, Z., Trethewey, W. M., & Anderson, A. D. (1988). Variables Affecting Marshall Test Results. *Transportation Research Record*, *1171*, 139–148.

Sofo, H. A. I., Mohammed, M. A., & Sidick, B. (2024). Recycling of Waste Plastic PET on Asphalt Concrete (AC) by Using Application of Response Surface Methodology: Effect of PET on AC Formulated by Duriez Model. *International Journal of Materials Science and Applications*, *13*(3), 48–60.

Sukirman, S. (1992). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.

Sunarjono, S., Hidayati, N., Ardianto, M. R. W., & Magfirona, A. (2020). Analysis of AC-WC Design Material Using Reclaimed Asphalt Pavement. *Civil Engineering and Architecture*, *Vol 8*, 274–280.

Susanto, H., Mulyono, B., Widyaningrum, A., & Purnomo, W. (2023). Kinerja Perkerasan Aspal Berpori Dengan Campuran Limbah Plastik Dan Karet (The Performance Of Porous Asphalt Pavement Using Rubber And Plastic Waste). *Jurnal Jalan-Jembatan*, *Volume 40 No.1*, 32–43.

Wibisono, A., Putra, S., Junaedi, T. an, & Sulistyorini, R. (2023). Pengaruh PET Sebagai Bahan Tambah Aspal Terhadap Nilai Kekuatan Sisa Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, *11*(4), 667–678.

Xu, F., Zhao, Y., & Li, K. (2021). Using waste plastics as asphalt modifier: A review. *Materials*, *15*(1), 110.

Zoorob, S. E., & Suparma, L. B. (2000). Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt). *Cement and concrete composites*, *Vol. 22*(4), 233–242.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 2% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,83	23,83
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,04	47,04
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,21	23,21
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	24,99	24,98
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,16	1,15
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,10	47,08
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	22,11	22,10
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,10	1,11
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,05	1,04
10	Rata-rata Bf Aspal	1,045	

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Dosen Pembimbing / Jurusan Teknik Sipil

Ir. [illegible] IPM. ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Gabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 2% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Mah. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3300, 3301
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 2% PET

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,84	23,83
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,04	47,04
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,20	23,21
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,03	25,02
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,19	1,19
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,12	47,11
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	22,09	22,09
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,11	1,12
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,07	1,06
10	Rata-rata Bl Aspal	1,067	

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Ir. [illegible], IPM, ASEAN Eng.
[illegible]

Mengetahui
Kaleb Jalan Raya
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti
Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 4% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3208, 3291
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 4% PET

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 : 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,85	23,84
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,04	47,04
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,19	23,20
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,10	25,15
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,25	1,31
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,14	47,13
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	22,04	21,98
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,15	1,22
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,09	1,07
10	Rata-rata BJ Aspal	1,080	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengesahkan
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Ahmad Soebarkah, M.Eng.(IM), ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0001

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Mohamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 4 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 6% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 895444 ext. 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 4 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 6% PET

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,57	23,54
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,03	47,02
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,46	23,48
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,15	25,17
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,58	1,63
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,21	47,18
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	22,06	22,01
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,40	1,47
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,13	1,11
10	Rata-rata Bf Aspal	1,119	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kaprodi Teknik Sipil

Ir. Hedzar Ashfi, M.Eng.,IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kaprodi Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 5 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 8% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Wahi Hasyim
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3208, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 5 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 + 8% PET

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,57	23,56
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,04	47,05
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,47	23,49
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,05	25,06
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,48	1,50
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,22	47,23
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	22,17	22,17
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,30	1,32
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,14	1,14
10	Rata-rata Bj Aspal	1,139	

Mengetahui Oleh
[illegible]

Ir. Bambang Kusbiantoro, M.Eng.(Prof), ASEAN Eng.
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 6 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3208, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 6 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN, AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Persiapan Benda uji**			
	Mulai persiapan	27 °C	12.30 WIB	
	Selesai persiapan	140 °C	13.00 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 °C	13.00 WIB	
	Selesai	27 °C	15.30 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 °C	15.30 WIB	
	Selesai	25 °C	15.40 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	66	66			
2	62	64			
3	63	68			
4	65	65			
5	64	63			
Rata2	64	65,3			
Rata2	64,6				

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPT.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 7 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 2% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3280, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 7 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 2% PET

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN, AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 °C	12.30 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	13.00 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 °C	13.00 WIB	
	Selesai	27 °C	15.30 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 °C	15.30 WIB	
	Selesai	25 °C	15.40 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	68	70			
2	60	70			
3	50	65			
4	65	67			
5	64	60			
Rata2	61,4	66,4			
Rata2	63,9				

Diperiksa Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP, ASEAN Eng.
NIK : 21 511 0102

Mengetahui
Kajur. Jalan Rel

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Nama Anda
NIM : 21 511 172

Lampiran 8 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 4% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 8 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 4% PET

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN, AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 °C	12.30 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	13.00 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 °C	13.00 WIB	
	Selesai	27 °C	15.30 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 °C	15.30 WIB	
	Selesai	25 °C	15.40 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	60	58			
2	58	60			
3	58	57			
4	65	60			
5	64	60			
Rata2	61	59			
Rata2	60				

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Fakultas Teknik Sipil

Ir. Hardiyati, M.Sc., Ph.D, IPM, ASEAN Eng
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T, IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sahri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 9 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 6% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3208, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 9 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 6% PET

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN, AASHTO T-49-68, ASTM D 5-71

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Penuangan Benda uji**			
	Mulai penuangan	27 °C	12.30 WIB	
	Selesai penuangan	140 °C	13.00 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 °C	13.00 WIB	
	Selesai	27 °C	15.30 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 °C	15.30 WIB	
	Selesai	25 °C	15.40 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	57	59			
2	55	60			
3	57	55			
4	59	58			
5	55	55			
Rata2	56,6	57,4			
Rata2	57				

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 001 511 9107

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Meri Ardias
NIM : 21 511 172

Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 8% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3208, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.fts@uii.ac.id
W. fts.uii.ac.id

Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 + 8% PET

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN; AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 °C	12.30 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	13.00 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 °C	13.00 WIB	
	Selesai	27 °C	15.30 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 °C	15.30 WIB	
	Selesai	25 °C	15.40 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	54	55			
2	53	52			
3	54	54			
4	50	54			
5	51	52			
Rata2	52,4	53,4			
Rata2	52,9				

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kepala Laboratorium Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Ardian
NIM : 21 511 172

Lampiran 11 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 11 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

1. Sumber Material : Pertamina
2. Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3. Diuji Pada : November 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	11.15 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	11.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	11.30 WIB	
	Selesai	28 °C	13.22 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	28 °C	14.47 WIB	
	Selesai	339 °C	15.47 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	333 °C	338 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	333 °C	338 °C	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T, IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 12 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 2% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Wahi Hasim
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 12 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 2% PET

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN: AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	11.15 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	11.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	11.30 WIB	
	Selesai	28 °C	13.22 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	28 °C	14.47 WIB	
	Selesai	339 °C	15.47 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan		Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji	1	335 °C	340 °C	
2	Benda uji	2			
3	Rata - rata		335 °C	340 °C	

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.
NIK : 21 511 1040

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 13 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 4% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 13 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 4% PET

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN, AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	11.15 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	11.30 WIB	
2	Didinginkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	11.30 WIB	
	Selesai	28 °C	13.22 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	28 °C	14.47 WIB	
	Selesai	339 °C	15.47 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	340 °C	347 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata-rata	340 °C	347 °C	

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. [illegible], MT., [illegible], ASEAN Eng.
[illegible]

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 14 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 6% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 14 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 6% PET

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN, AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	11.15 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	11.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	11.30 WIB	
	Selesai	28 °C	13.22 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	28 °C	14.47 WIB	
	Selesai	339 °C	15.47 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	345 °C	348 °C	
2	Benda uji 2			
	Rata-rata	345 °C	348 °C	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kaprodi Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 15 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 8% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung Ir. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 15 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 + 8% PET

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	11.15 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	11.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	11.30 WIB	
	Selesai	28 °C	13.22 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	28 °C	14.47 WIB	
	Selesai	339 °C	15.47 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	347 °C	349 °C	
2	Benda uji 2			
	Rata-rata	347 °C	349 °C	

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Mengetahui
Kaleb Jalan Raya

Ir. [illegible], M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 16 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung Ir. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 16 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Persiapan Benda uji			
	Mulai persiapan	28 °C	09.20 WIB	
	Selesai persiapan	130 °C	09.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	09.35 WIB	
	Selesai	28 °C	10.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5 °C	14.15 WIB	
	Selesai	50 °C	14.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	- detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	512 detik	514 detik	48	50
11	55 °C				
	60 °C				

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Teknik Sipil

Ir. Bertiar Naphan, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kaleb Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 17 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/7070 + 2% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 17 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 + 2% PET

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	09.20 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	09.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	09.35 WIB	
	Selesai	28 °C	10.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5 °C	14.15 WIB	
	Selesai	51 °C	14.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	520 detik	522 detik	49	51
11	55 °C				
12	60 °C				

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Dwi Kurniadi, M.Eng.(Hon), ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hafi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 18 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/7070 + 4% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 18 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 + 4% PET

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	09.20 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	09.35 WIB	
2	Didinginkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	09.35 WIB	
	Selesai	28 °C	10.40 WIB	
3	Dipertbus			
	Mulai	5 °C	14.15 WIB	
	Selesai	51 °C	14.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	525 detik	530 detik	50	
11	55 °C				51
12	60 °C				

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kaprodi Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 19 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/7070 + 6% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 19 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 + 6% PET

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Uraian Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	09.20 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	09.35 WIB	
2	Didinginkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	09.35 WIB	
	Selesai	28 °C	10.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5 °C	14.15 WIB	
	Selesai	63 °C	14.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	540 detik	540 detik		
11	55 °C	600 detik	600 detik		
12	60 °C	661 detik	675 detik	61	63
	65 °C				

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bambang Kusbandi, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T, IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Salvi Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 20 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/7070 + 8% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 20 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 + 8% PET

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji:			
	Mulai pemanasan	28 °C	09.20 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	09.35 WIB	
2	Didinginkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	09.35 WIB	
	Selesai	28 °C	10.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5 °C	14.15 WIB	
	Selesai	66 °C	14.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	540 detik	540 detik		
11	55 °C	600 detik	600 detik		
12	60 °C	660 detik	660 detik	64	
13	65 °C	675 detik	684 detik		66

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP., ASEAN Eng.
NIK : 91 511 0107

Mengetahui
Kaprodi Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 21 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 21 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

1 Contoh dari : Pertamina
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : November 2025

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemanas ± 135°C
2	Mendinginkan benda uji	Diankan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang ± 28°C
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath ± 25°C
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat ± 25°C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	130,8 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	129,4 cm	Tidak Putus
		130,1 cm	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui

Peneliti

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Zahri Akrimi
NIM : 21 511 172

Lampiran 22 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 2% PET

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 22 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 2% PET

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

1 Contoh dari : Pertamina
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : November 2025

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemanas + 135°C
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang ± 28°C
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath ± 25°C
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat ± 25°C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	120 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	117 cm	Tidak Putus
	Rerata	118,5 cm	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK : 21 513 1307

Peneliti

Sabri Adam
NIM : 21 511 172

Ir. [illegible], M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Lampiran 23 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 4% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 23 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 4% PET

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

1 Contoh dari : Pertamina
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : November 2025

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemanas = 135°C
2	Mendinginkan benda uji	Diankan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang = 28°C
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath = 25°C
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat = 25°C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	97 cm	Putus
2	Sampel 2	93 cm	Putus
3	Sampel 3		
4	Rata - rata	95 cm	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Alimi
NIM : 21 511 172

Lampiran 24 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 6% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. ekstrut.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 24 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 6% PET

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

1 Contoh dari : Pertamina
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : November 2025

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu penuang ± 135°C
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang ± 28°C
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath ± 25°C
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat ± 25°C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	93 cm	Putus
2	Sampel 2	91 cm	Putus
		92 cm	

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Fakultas Teknik Sipil
DAN PERENCANAAN

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP, ASEAN Eng.
NIK : 21 511 1307

Mengetahui
Kepala Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Safiri Abrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 25 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 8% PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung Ir. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 25 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 + 8% PET

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

1 Contoh dari : Pertamina
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : November 2025

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu penuang + 135°C
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang + 28°C
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath ± 25°C
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat ± 25°C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	90 cm	Putus
2	Sampel 2	87 cm	Putus
		88,5 cm	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kabdy. Jalan Raya

Peneliti

Ir. Barlian Kaharu, M.Eng, IPU., ASEAN.Er
NIK : 01 511 0101

Ir. [illegible] Nidal Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Sabri Ahlan
NIM : 21 511 172

Lampiran 26 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam *TCE*

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Mas. Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3208, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 26 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

1. Sumber Material : Pertamina
2. Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3. Diuji Pada : November 2025

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20 WIB	28 °C
		Selesai	13.30 WIB	28 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30 WIB	28 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40 WIB	28 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45 WIB	28 °C
		Selesai	14.15 WIB	28 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15 WIB	150 °C
6	Penimbangan	Mulai	14.30 WIB	28°C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji				Keterangan
		1		2		
1	Berat erlen meyer kosong	58,56	gr	56,60	gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	60,52	gr	61,52	gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,96	gr	4,92	gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,60	gr	0,59	gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,62	gr	0,62	gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,02	gr	0,03	gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,92	%	0,61	%	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,1	%	99,4	%	
	Aspal yang larut (%)	99			%	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kaprodi Jalan Raya

Peneliti

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP
NIK : 21 511 1307

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 27 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 27 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (Bf) gr	1709,15	1700,58	1704,87
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1105,80	1106,61	1106,21
3	Berat benda uji dioring oven (BK) gr	1685,47	1677,94	1681,71
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA}$	2,794	2,825	2,809
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA}$	2,833	2,863	2,848
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,908	2,937	2,922
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,405	1,349	1,377
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,851	2,881	2,866

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh:
Dosen Pembimbing/Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir. Drs. [illegible], M.Sc, IPM, ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T, IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 28 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 28 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

1 Sumber Material : Clereng, Kalonprego
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : November 2025

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda Uji**			
	Mulai	25°C	08.00 WIB	
	Selesai	150°C	08.15 WIB	
2	**Didiamkan Pada Suhu Ruang**			
	Mulai	150°C	08.15 WIB	
	Selesai	25°C	09.45 WIB	
3	**Perendaman benda uji**			
	Mulai	25°C	09.45 WIB	
	Selesai	25°C	10.15 WIB	

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	99%	
2	Sampel 2	97%	
	Rata-rata	98%	

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
[illegible] Jurusan Teknik Sipil

[illegible], ASEAN Eng
NIK : 01 [illegible]

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Dwi Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 29 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Wahid Hasyim
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 29 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : November 2025

No	Jenis Gradasi Saringan		B Benda Uji (gram)		Keterangan
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00	2500,00	
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00	2500,00	
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	5000,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE (pan) (100-n)		4162,80	4264,20	
13	KEAUSAN 100n = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		16,744	14,716	
	Rata-rata Keausan (%)		15,73		

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Ketua Laboratorium dan Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hendri Kurniati, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 30 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 895444 ext 3208, 3207
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 30 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00	500,00	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	646,54	648,26	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	934,62	953,79	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	489,00	487,00	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,55	2,50	2,53
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,61	2,57	2,59
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,70	2,68	2,69
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2,25	2,67	2,46
	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,63	2,59	2,61

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kabib. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Penelitii

Sabri Alfrian
NIM : 21 511 172

Ir. Bambang Kusbiantoro, M.Sc.(Prof.Dr.), ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Lampiran 31 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung Ki. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3208, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 31 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Keterangan		Benda uji 1	Benda uji 2	Rata-rata
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit).	Mulai	14.15	15.06	
		Selesai	14.25	15.16	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	14.36	15.22	
		Selesai	14.56	15.42	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,90	3,80	3,85
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		2,80	2,80	2,80
6	*Sand Eqivalent* $= \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100\ \%$		71,79	73,68	72,74
	Kandungan Lumpur = 100 - SE		28,21	26,32	27,26

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Peneliti

Ir. Mahmud Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP
NIK : 21 511 1307

Sabri Adnan
NIM : 21 511 172

Lampiran 32 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung Ir. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. deksipil.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 32 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : *Filler* Abu Batu
2 Sumber Material : Clereng, Kalorprego
3 Diuji Pada : November 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,80	23,80	
2	Berat Vicnometer + Air gr	47,36	47,18	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,56	23,38	
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	32,45	30,42	
5	Berat *Filler* (4-1) gr	8,65	6,62	7,64
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	52,74	51,24	51,99
7	Berat Aquadest (6-4) gr	20,29	20,82	20,56
8	Volume *Filler* (3-7) gr	3,27	2,56	2,92
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	2,65	2,59	2,62

Diperiksa Oleh
Manajer Laboratorium Teknik Sipil

Ir. Bachtiar Ginting, M.Eng, IPM, ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 33 Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 33 Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

PEMERIKSAAN SIFAT - SIFAT CAMPURAN ASPAL PANAS METODA MARSHALL

RUJUKAN : AASHTO : T 245 - 78

1 Jenis Campuran : Aspal Porus
2 Bahan Ikat : Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat (Gram)			Isi	Bj Bulk Campuran	(%)			Stabilitas		Kelelehan Plastis (Flow)	Marshall Quotient (MQ)
				di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dlm camp (VITM)	2 Agrgt (VMA)	Rongga terisi Aspal (VFWA)	di Baca	di Sesuaikan		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		% Total Campuran	100 / (100-B / Gse + B / T)	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gsb	B x H / T (B x H / T)+H x 100	Data Pembc. Prov. Rtng	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab	M / N
1	73,13	4,50	2,553	1.152,72	626,63	1.182,64	556,01	2,073				40,0	380,1	2,40	
2	78,36			1.159,42	623,97	1.190,46	566,49	2,047				43,0	408,6	3,05	
3	75,76			1.172,68	629,04	1.202,95	582,91	2,012				45,0	427,6	2,10	
	75,75			1.161,61	623,55	1.192,02		2,044	19,94	24,05	30,62	42,7	405,47	2,52	160,90
1	89,03	5,00	2,534	1.168,48	626,73	1.195,06	568,33	2,056				51,0	463,4	2,70	
2	78			1.152,18	627,67	1.192,29	564,62	2,041				53,0	481,6	2,60	
3	73,93			1.157,65	624,98	1.184,18	559,20	2,070				52,0	472,5	2,80	
	80,32			1.159,44	626,46	1.190,51		2,055	18,90	24,04	34,22	52,0	473,00	2,70	175,19
1	78,16	5,50	2,515	1.129,07	616,18	1.178,98	562,80	2,006				53,0	560,9	3,70	
2	73,64			1.157,29	618,25	1.179,36	561,11	2,063				54,0	571,5	3,10	
3	72,43			1.148,94	614,69	1.169,90	555,21	2,069				50,0	529,2	3,20	
	74,74			1.145,10	616,37	1.176,08		2,046	18,65	24,77	36,60	52,3	553,86	3,34	165,81
1	76,03	6,00	2,497	1.139,39	623,43	1.167,02	543,59	2,096				56,0	590,7	4,00	
2	76,1			1.157,39	632,82	1.185,95	553,13	2,092				55,0	580,1	3,90	
3	72,5			1.127,36	623,15	1.163,31	540,16	2,106				57,0	601,2	3,80	
	74,88			1.144,71	626,47	1.172,09		2,098	15,96	23,26	43,01	56,0	590,7	3,90	151,45
1	72,5	6,50	2,478	1.137,97	612,56	1.148,50	535,94	2,123				50,0	502,7	4,00	
2	74,9			1.139,54	617,02	1.147,50	530,48	2,148				52,0	522,8	4,20	
3	75,23			1.148,27	612,12	1.165,50	553,38	2,075				51,0	512,8	4,20	
	74,21			1.141,93	613,90	1.153,83		2,115	14,65	23,05	47,31	51,0	512,8	4,14	123,86
									18-25				>500	2 - 6	<600

Disahkan Oleh
Direktur/Ka Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

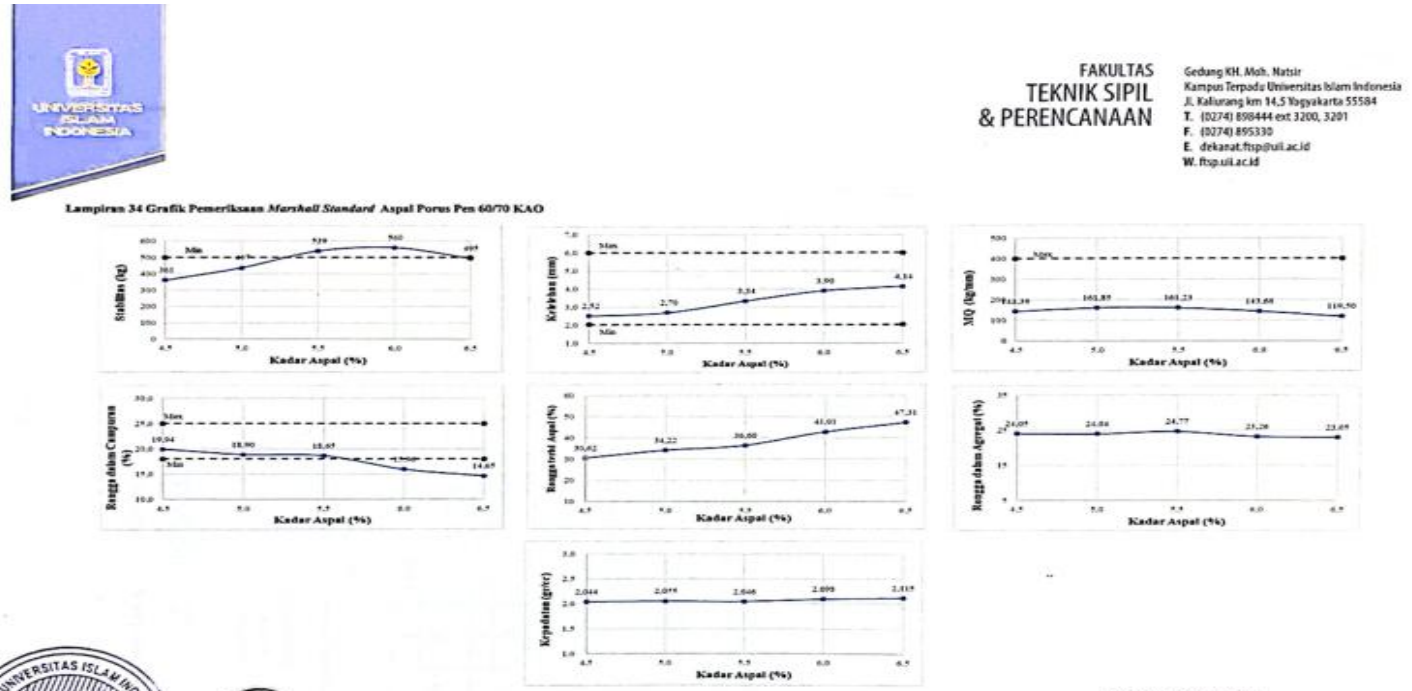
Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 34 Grafik Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 KAO



Lampiran 35 Pemeriksaan *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 35 Pemeriksaan *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

PEMERIKSAAN *CANTABRO LOSS*

RUJUKAN : ASTM D7064 / D7064M

1 Jenis Campuran : Aspal Porus
2 Bahan Ikat : Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

Sample		Berat Benda uji		Berat Hilang	Kehilangan Berat	Rata - Rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	Mo-Mi	L	
4,5%	I	1148,49	714,11	434,38	37,82	37,52
	II	1144,59	717,5	427,09	37,31	
	III	1138,88	712,83	426,05	37,41	
5,0%	I	1144,75	737,25	407,50	35,60	35,22
	II	1148,26	743,02	405,24	35,29	
	III	1147,04	748,12	398,92	34,78	
5,5%	I	1159,02	834,45	324,57	28,00	28,46
	II	1149,37	822,98	326,39	28,40	
	III	1150,27	816,88	333,39	28,98	
6,0%	I	1099,2	882,61	216,59	19,70	22,80
	II	1150,92	877,47	273,45	23,76	
	III	1130,34	848,64	281,70	24,92	
6,5%	I	1136,97	882,73	254,24	22,36	21,88
	II	1132,56	892,80	239,76	21,17	
	III	1146,21	892,68	253,53	22,12	

Yogyakarta, Februari 2026

Mengetahui
Kalab. Teknik Sipil

Ir. Muhawal Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

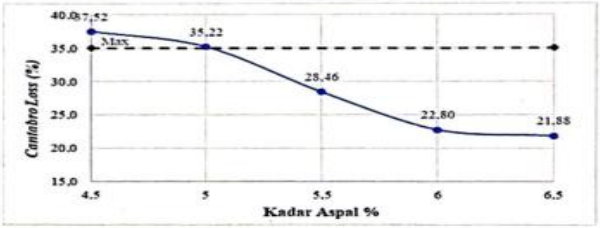
Lampiran 36 Grafik *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 36 Grafik *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

Kadar Aspal (%)	Kehilangan Berat L	Max	Syarat
4,5	37,52	35	Tidak Memenuhi
5	35,22	35	Tidak Memenuhi
5,5	28,46	35	Memenuhi
6	22,80	35	Memenuhi
6,5	21,88	35	Memenuhi



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernah Kishadi, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 37 Pemeriksaan *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3308, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 37 Pemeriksaan *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

PEMERIKSAAN *ASPHALT FLOW DOWN*

RUJUKAN : ASTM D7064 / D7064M

1 Jenis Campuran : Aspal Porus
2 Bahan Ikat : Pen 60/70
3 Diuji Pada : November 2025

Sample		Berat (gr)			Berat Total Campuran	Berat Aspal Yang Melekat	Nilai *Asphalt Flow Down* (%)	Rata - Rata *AFD (%)*
		Berat Cetakan	Berat cetakan dengan campuran aspal	Berat cetakan beserta aspal yang melekat pada aluminium foil				
		(m1)	(m2)	(m3)	(m2-m1)	(m3-m1)	*AFD*	*AFD*
4,5%	I	333,81	1494,95	334,56	1161,14	0,75	0,06459	0,046
	II	343,92	1495,9	346,18	1169,98	0,26	0,02261	
	III	355,99	1492,69	356,58	1136,70	0,59	0,0519	
5,0%	I	193,94	1356,45	195,48	1162,51	1,54	0,13247	0,119
	II	338,69	1498,77	340,03	1160,08	1,34	0,11551	
	III	335,07	1506,71	336,33	1171,64	1,26	0,10756	
5,5%	I	335,15	1459,39	337,64	1124,24	2,49	0,22148	0,210
	II	344,82	1485,8	347,44	1150,98	2,62	0,22763	
	III	194,80	1358,33	197,01	1163,53	2,11	0,18136	
6,0%	I	334,6	1368,07	343,51	1063,47	8,91	0,83782	0,768
	II	333,3	1396,31	343,22	1063,01	9,92	0,9332	
	III	340,08	1397,71	345,73	1057,63	5,65	0,53421	
6,5%	I	192,26	1339,64	205,5	1147,38	13,24	1,15393	1,003
	II	336,44	1458,29	349,43	1121,85	12,99	1,15781	
	III	334,46	1481,6	342,54	1147,14	8,08	0,70436	

Diperiksa Oleh
Manajer Laboratorium Perusahaan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Ir. Bachnas, M.T., M.Sc., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 375 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Rel
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti
Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

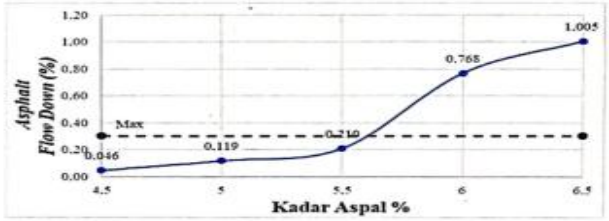
Lampiran 38 Grafik *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 38 Grafik *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 KAO

Kadar Aspal (%)	Nilai *Asphalt Flow Down* (%)	Max	Syarat
4,5	0,046	0,3	Memenuhi
5	0,119	0,3	Memenuhi
5,5	0,210	0,3	Memenuhi
6	0,768	0,3	Tidak Memenuhi
6,5	1,005	0,3	Tidak Memenuhi



Disahkan Oleh
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

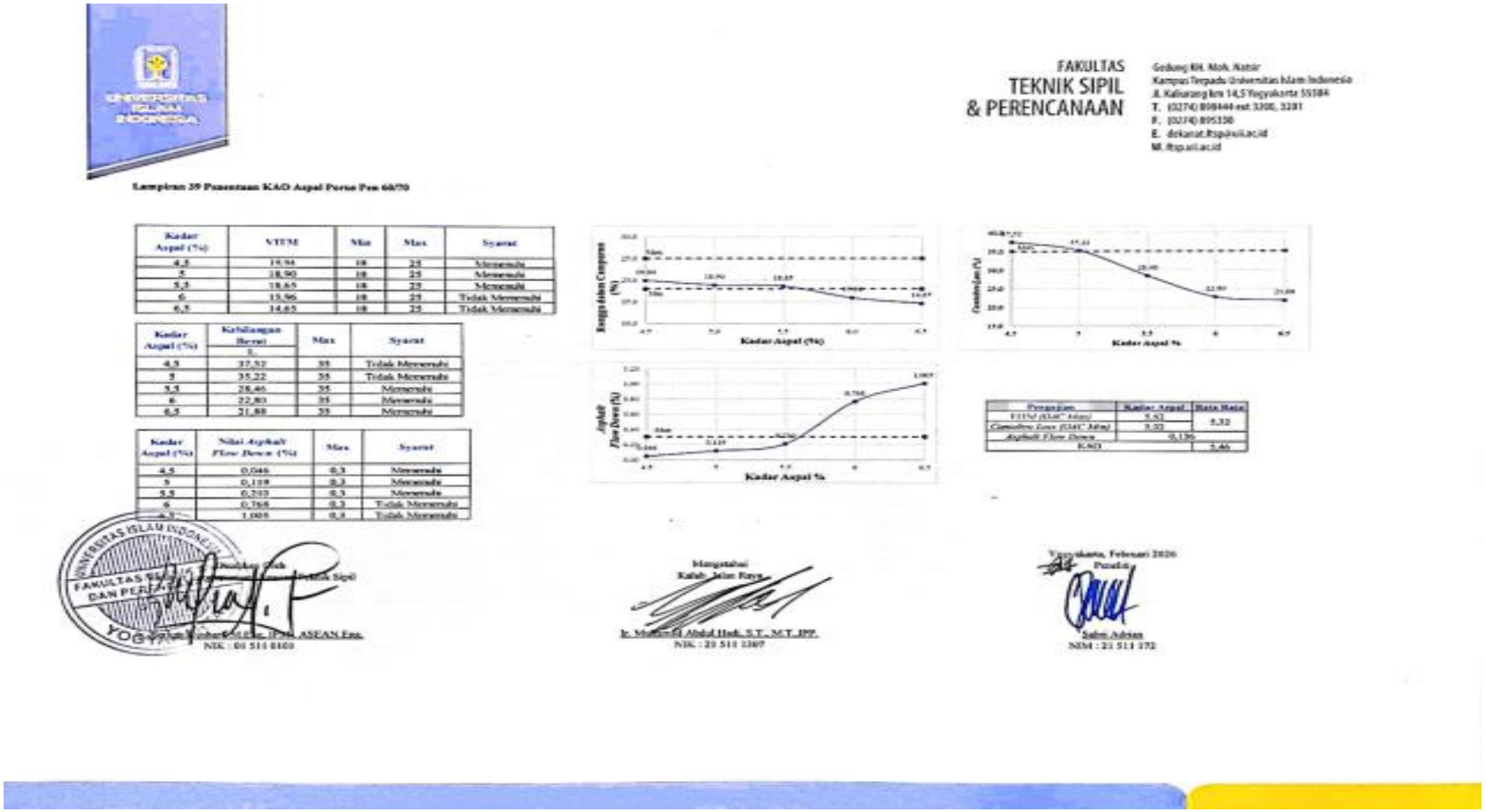
Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 39 Penentuan KAO Aspal Porus Pen 60/70



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 3208, 3281
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 39 Penentuan KAO Aspal Porus Pen 60/70

Kadar Aspal (%)	VITM	Min	Max	Syarat
4,5	19,94	18	25	Memenuhi
5	18,90	18	25	Memenuhi
5,5	18,65	18	25	Memenuhi
6	15,96	18	25	Tidak Memenuhi
6,5	14,65	18	25	Tidak Memenuhi

Kadar Aspal (%)	Kehilangan Berat (%)	Max	Syarat
4,5	37,52	35	Tidak Memenuhi
5	35,22	35	Tidak Memenuhi
5,5	28,46	35	Memenuhi
6	22,80	35	Memenuhi
6,5	21,88	35	Memenuhi

Kadar Aspal (%)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Max	Syarat
4,5	0,046	0,3	Memenuhi
5	0,119	0,3	Memenuhi
5,5	0,193	0,3	Memenuhi
6	0,766	0,3	Tidak Memenuhi
6,5	1,005	0,3	Tidak Memenuhi

Pengujian	Kadar Aspal	Rata-Rata
VITM (Ekstraksi)	5,52	5,32
Kehilangan Berat (TFOT)	5,32	
Asphalt Flow Down	0,126	
KAO		5,46

Mengetahui
Kabid. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK : 19 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Salim Adrian
NIM : 21 511 172

Ir. [illegible], ASEAN Eng.
NIK : 00 511 0103

Lampiran 40 Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 40 Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

PEMERIKSAAN SIFAT - SIFAT CAMPURAN ASPAL PANAS METODA MARSHALL

RUJUKAN : AASHTO : T 245 - 78

1 Jenis Campuran : Aspal Porus
2 Bahan Ikat : Pen 60/70 + PET
3 Diuji Pada : Desember 2025

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks Campuran	Berat (Gram) di Udara	Berat (Gram) dalam Air	Berat (Gram) SSD	Isi	Bj Bulk Campuran	(%) Rongga dlm camp (VITM)	(%) 2 Agrgt (VMA)	(%) Rongga terisi Aspal (VFWA)	Stabilitas di Baca	Stabilitas di Sesuaikan	Kelelehan Plastis (Flow)	Marshall Quotient (MQ)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		% Total Campuran	100 / (100-B / Gse + B / T)	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gsb	B x H / T (B x H / T)+I x 100	Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab	M / N
1	79,1	0% PET 5,46	2,517	1.144,36	629,93	1.186,46	556,53	2,056				58,0	536,7	4,50	
2	80			1.149,23	622,55	1.187,15	564,60	2,035				55,0	508,9	4,60	
3	80			1.162,38	631,04	1.202,07	571,03	2,036				55,0	508,9	4,70	
	79,7			1.151,99	627,84	1.191,89		2,042	18,86	24,88	36,12	56,0	518,15	**4,60**	112,64
1	80,1	2% PET 5,46	2,517	1.139,43	619,95	1.177,74	557,79	2,043				57,0	537,6	4,20	
2	78			1.137,41	617,33	1.177,95	560,62	2,029				58,0	547,0	4,50	
3	79			1.151,93	625,90	1.190,95	565,05	2,039				56,0	528,2	4,80	
	79,033			1.142,92	621,06	1.182,21		2,037	19,06	25,06	35,82	57,0	528,90	**4,50**	119,56
1	73	4% PET 5,46	2,517	1.117,02	607,52	1.164,43	556,91	2,006				55,0	593,1	4,20	
2	74			1.134,89	617,46	1.169,15	551,69	2,057				57,0	614,6	4,32	
3	75,00			1.148,66	618,78	1.184,58	565,80	2,030				58,0	625,4	4,10	
	74,00			1.133,52	614,59	1.172,72		2,031	19,30	25,28	35,46	56,7	611,03	**4,21**	145,84
1	73,6	6% PET 5,46	2,517	1.126,61	610,86	1.168,98	558,12	2,036				60,0	656,6	4,10	
2	73			1.140,26	614,31	1.174,68	560,37	2,036				61,0	667,6	3,50	
3	73,6			1.143,39	610,77	1.178,63	567,86	2,014				63,0	689,5	3,80	
	73,40			1.140,23	611,98	1.174,10		2,028	19,42	25,4	35,29	61,3	671,2	**3,80**	176,64
1	73,6	8% PET 5,46	2,517	1.147,19	619,37	1.184,92	565,55	2,028				74,0	745,2	3,70	
2	74,3			1.143,92	612,65	1.178,12	565,47	2,023				70,0	704,9	3,40	
3	74,6			1.123,90	604,43	1.158,47	554,04	2,029				68,0	684,8	3,50	
	74,17			1.138,34	612,15	1.173,84		2,026	19,50	25,47	35,17	70,7	711,6	**3,54**	201,02
									18-25				>500	2 - 6	<400

Yogyakarta, Februari 2026

Disahkan Oleh
Kepala Laboratorium/Jurusan Teknik Sipil

Ir. Ruzardi Kusuma, M.Eng, IPM., ASEAN Eng
NIK : 01 511 0101

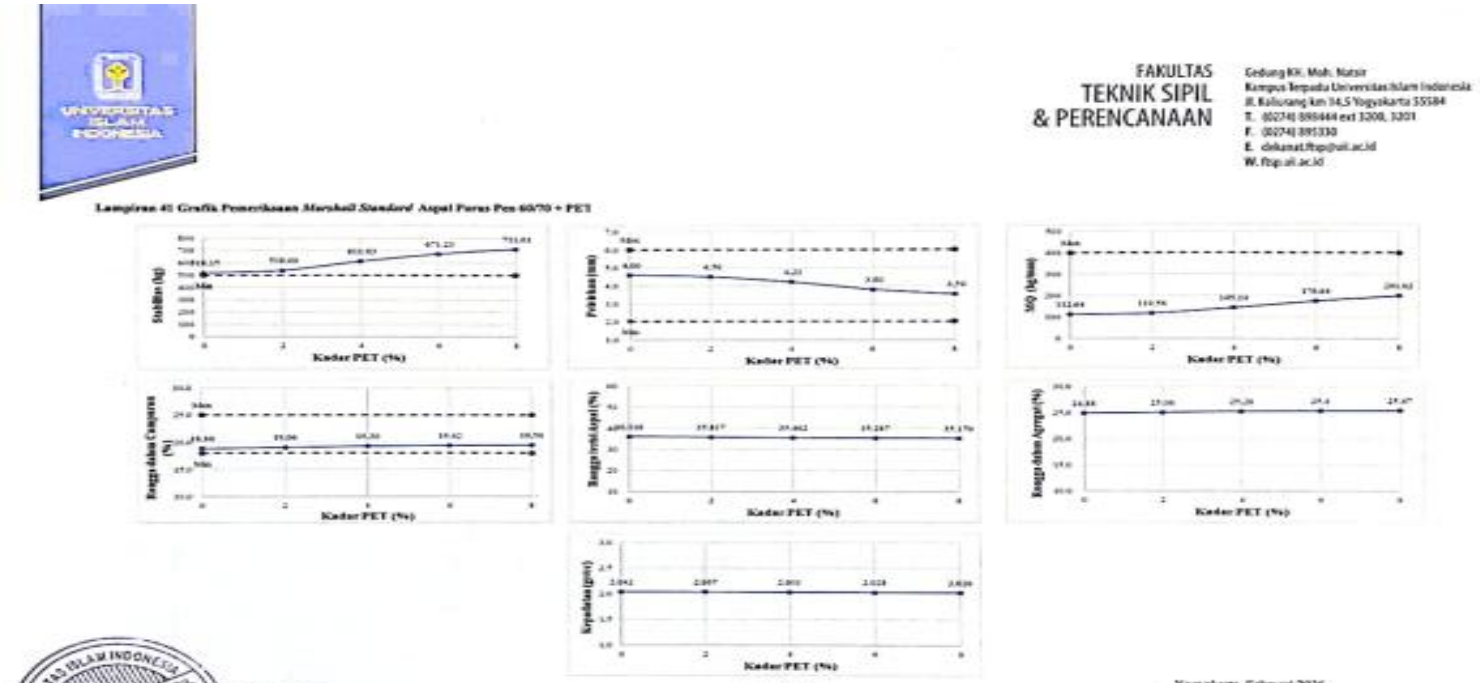
Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 41 Grafik Pemeriksaan *Marshall Standard* Aspal Porus Pen 60/70 + PET



Lampiran 42 Pemeriksaan *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3208, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 42 Pemeriksaan *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

PEMERIKSAAN *CANTABRO LOSS*

RUJUKAN : ASTM D7064 / D7064M

1 Jenis Campuran : Aspal Porus
2 Bahan Ikat : Pen 60/70 + PET
3 Diuji Pada : Desember 2025

Sample		Berat Benda uji		Berat Hilang	Kehilangan Berat	Rata - Rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	Mo-Mi	L	
0,0%	I	1156,99	794,19	362,80	31,36	32,41
	II	1140,04	753,52	386,52	33,90	
	III	1153,02	784,34	368,68	31,98	
2,0%	I	1135,26	778,27	356,99	31,45	31,68
	II	1159,36	785,34	374,02	32,26	
	III	1148,24	788,56	359,68	31,32	
4,0%	I	1145,85	991,16	154,69	13,50	15,50
	II	1140,16	941,65	198,51	17,41	
	III	1143,52	965,18	178,34	15,60	
6,0%	I	1141,63	1032,27	109,36	9,58	10,02
	II	1129,29	1002,51	126,78	11,23	
	III	1137,33	1032,23	105,10	9,24	
8,0%	I	1136,35	1030,61	105,74	9,31	9,10
	II	1144,38	1041,59	102,79	8,98	
	III	1157,52	1053,15	104,37	9,02	

Diperiksa Oleh
Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil

Ir. [illegible], S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 21 511 [illegible]

Mengetahui
Kaleb. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

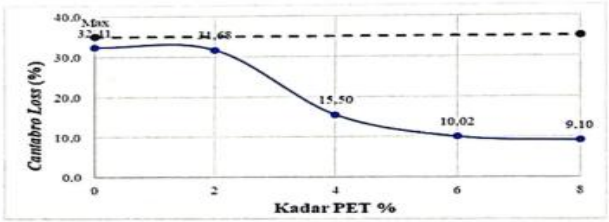
Lampiran 43 Grafik *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 43 Grafik *Cantabro Loss* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

Kadar PET (%)	Kehilangan Berat L	Max	Syarat
0	32,41	35	Memenuhi
2	31,68	35	Memenuhi
4	15,50	35	Memenuhi
6	10,02	35	Memenuhi
8	9,10	35	Memenuhi



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Rahmi Nurhati, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 44 Pemeriksaan *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.fts@uii.ac.id
W. fts.uii.ac.id

Lampiran 44 Pemeriksaan *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 PET

PEMERIKSAAN *ASPHALT FLOW DOWN*

RUJUKAN : ASTM D7064 / D7064M

1 Jenis Campuran : Aspal Porus
2 Bahan Ikat : Pen 60/70 + PET
3 Diuji Pada : Desember 2025

Sample		Berat (gr)			Berat Total Campuran	Berat Aspal Yang Meleleh	Nilai *Asphalt Flow Down* (%)	Rata - Rata *AFD* (%)
		Berat Cetakan	Berat cetakan dengan campuran aspal	Berat cetakan beserta aspal yang melekat pada aluminium foil				
		(m1)	(m2)	(m3)	(m2-m1)	(m3-m1)	*AFD*	*AFD*
0,0%	I	195,69	1348,06	199,2	1152,37	3,51	0,30	0,30
	II	278,53	1456,56	281,69	1178,03	3,16	0,27	
	III	338,79	1478,36	342,38	1139,57	3,59	0,32	
2,0%	I	279,59	1432,44	282,87	1152,85	3,28	0,28	0,285
	II	196,29	1365,19	199,36	1168,90	3,07	0,26	
	III	348,17	1408,96	351,64	1060,79	3,27	0,31	
4,0%	I	347,17	1398,96	349,44	1051,79	2,27	0,22	0,234
	II	194,8	1355,21	198,16	1160,41	3,36	0,29	
	III	279,59	1432,44	282,87	1152,85	2,28	0,20	
6,0%	I	340,97	1496,56	343,94	1155,59	2,97	0,26	0,217
	II	197,28	1356,36	199,24	1159,08	1,96	0,17	
	III	274,62	1475,22	277,31	1198,6	2,69	0,22	
8,0%	I	194,57	1351,73	196,31	1157,16	1,74	0,15	0,184
	II	280,12	1435,22	282,21	1155,1	2,09	0,18	
	III	357,17	1398,96	359,47	1041,79	2,3	0,22	

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Ir. Berlian Kurnia Agustina, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhardini Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

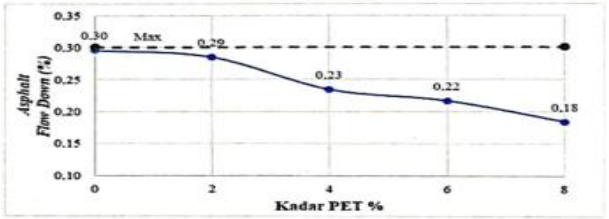
Lampiran 45 Grafik *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 45 Grafik *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

Kadar PET (%)	Nilai *Asphalt Flow Down* (%)	Max	Syarat
0	0,30	0,3	Memenuhi
2	0,29	0,3	Memenuhi
4	0,23	0,3	Memenuhi
6	0,22	0,3	Memenuhi
8	0,18	0,3	Memenuhi



Yogyakarta, Februari 2026

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachnas Sabhari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 46 Pemeriksaan *Index Retained Strength* (IRS) Aspal Porus Pen 60/70 + PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 46 Pemeriksaan *Index Retained Strength* (IRS) Aspal Porus Pen 60/70 + PET

PEMERIKSAAN *INDEX RETAINED STRENGHT* (IRS)

RUJUKAN : AASHTO : T 245 - 78

1 Jenis Campuran : Aspal Porus
2 Bahan Ikat : Pen 60/70 + PET
3 Diuji Pada : Desember 2025

KADAR PET			TEBAL SAMPEL (cm)				Angka koreksi	Berat (gr)			Stabilitas			Flow		Stabilitas Qx/1		
			1	2	3	rata-rata		kering	air	SSD	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2 (cm)	awal	rata2	MIN
PEN 60/70 + PET	0	1	80,5	81,2	81,3	81,00	0,68	1158,49	628,32	1200,92	30	31,56	946,80	2,45	2,31	293,47	311,51	500
		2	75,6	76,1	76,3	76,00	0,76	1158,49	627,94	1198,96	30	31,56	946,80	2,32		327,46		
		3	77,6	78,1	78,3	78,00	0,73	1158,82	635,32	1191,88	30	31,56	946,80	2,17		313,60		
	2	1	77,8	78	78,2	78,00	0,73	1134,58	625,09	1163,8	35	31,56	1104,60	2,38	2,39	365,86	364,41	500
		2	75,8	76,3	75,9	76,00	0,90	1140,72	622,17	1170,47	32	31,56	1009,92	2,25		409,99		
		3	82,7	83,1	83,2	83,00	0,65	1150,27	635,67	1180,9	34	31,56	1073,04	2,54		317,38		
	4	1	74,2	74,8	74,5	74,50	0,78	1117,05	663,15	1146,99	46	31,56	1451,76	2,74	2,77	514,87	487,28	500
		2	73,2	73,7	73,6	73,50	0,80	1145,63	679,26	1173,88	41	31,56	1293,96	2,86		469,91		
		3	74,8	75,3	74,9	75,00	0,78	1145,28	623,14	1168,31	43	31,56	1357,08	2,72		477,06		
	6	1	73,4	73,7	73,7	73,60	0,80	1139,05	618,55	1162,7	53	31,56	1672,68	3,35	3,22	603,65	588,47	500
		2	73,8	74,1	74,1	74,00	0,79	1141,54	617,02	1168,3	56	31,56	1767,36	2,88		634,31		
		3	72,1	72,4	72,4	72,30	0,82	1114,27	601,74	1140,34	45	31,56	1420,20	3,53		527,43		
	8	1	73,1	73,4	73,4	73,30	0,80	1145,77	613,95	1179,76	58	31,56	1830,48	3,48	3,51	663,87	669,01	500
		2	73,9	74	74,1	74,00	0,79	1130,73	607,24	1158,05	60	31,56	1893,60	3,39		682,31		
		3	72,8	73,1	73,1	73,00	0,81	1142,6	613,82	1171,24	57	31,56	1798,92	3,65		656,86		

Diperiksa Oleh
Dosen Pembimbing/Penguji Jurusan Teknik Sipil

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T, IPP.
NIK : 21 511 1307

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T, IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Februari 2026
Peneliti

Veri Adrian
NIM : 21 511 172

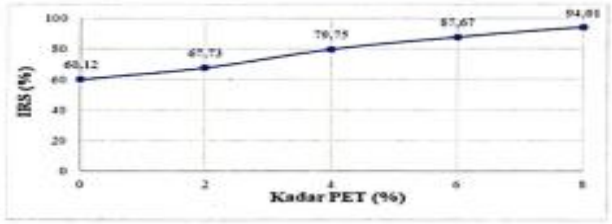
Lampiran 47 Grafik *Index Retained Strength* (IRS) Aspal Porus Pen 60/70 + PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Kahir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 47 Grafik *Index Retained Strength* (IRS) Aspal Porus Pen 60/70 + PET

Kadar PET (%)	Stabilitas 0,5 Jam	Stabilitas 24 Jam	IRS (%)
0	518,15	311,51	60,12
2	538,00	364,41	67,73
4	611,03	487,28	79,75
6	671,23	588,47	87,67
8	711,61	669,01	94,01



Yogyakarta, Februari 2026

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernadi Yuniarto, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Mohamed Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

Lampiran 48 Pemeriksaan *Indirect Tensile Strenght (ITS)* Tanpa Rendaman Aspal Porus Pen 60/70 + PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 48 Pemeriksaan *Indirect Tensile Strenght (ITS)* Tanpa Rendaman Aspal Porus Pen 60/70 + PET

PEMERIKSAAN *INDIRECT TENSILE STRENGHT* (ITS)

RUJUKAN : ASTM D6931

1 Jenis Campuran : Aspal Porus
2 Bahan Ikat : Pen 60/70 + PET
3 Diuji Pada : Desember 2025

Persen PET %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inch)				Ali	Alleji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Mesin	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
0%	1	78	78	78	78,00	0,730	4,06	4,06	4,06	4,06	0,154	30	31,56	946,80	313,60		606,38	
	2	75,00	75,00	75,00	75,00	0,775	4,02	4,02	4,06	4,03	0,157	35	31,56	1104,60	388,31	319,22	799,29	632,42
	3	70,18	69,36	70,29	79,00	0,715	4,02	4,02	4,06	4,03	0,155	25	31,56	789,00	255,74		491,58	
2%	1	69,87	70,26	69,95	80,10	0,697	4,00	4,00	3,99	3,99	0,156	40	31,56	1262,40	399,35		763,84	
	2	69,55	69,88	69,68	78,00	0,750	4,00	3,98	4,00	3,99	0,156	35	31,56	1104,60	365,87	357,37	719,11	692,52
	3	70,49	70,29	70,11	79,00	0,715	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	30	31,56	946,80	306,89		594,62	
4%	1	70,58	70,81	70,24	71,00	0,805	4,02	3,98	4,00	4,00	0,156	44	31,56	1388,64	507,06		1063,74	
	2	70,95	70,54	70,83	74,00	0,791	4,02	4,02	4,02	3,99	0,157	42	31,56	1325,52	475,74	475,53	987,20	986,17
	3	71,05	70,87	71,08	73,00	0,775	4,00	3,99	3,99	3,99	0,156	40	31,56	1262,40	443,78		907,57	
6%	1	70,99	71,11	71,08	73,60	0,799	3,98	4,02	3,98	3,99	0,156	43	31,56	1420,20	514,56		1072,43	
	2	71,24	70,93	71,04	73,00	0,805	3,98	4,02	3,98	3,99	0,156	49	31,56	1546,44	564,68	551,26	1186,57	1109,51
	3	71,26	71,08	71,10	73,60	0,799	3,98	4,02	3,98	3,99	0,156	45	31,56	1420,20	514,56		1069,55	
8%	1	71,43	71,02	71,09	74,00	0,791	3,98	4,02	3,98	3,99	0,156	56	31,56	1767,36	634,32		1314,90	
	2	71,57	71,00	71,10	73,30	0,804	3,98	3,98	4,02	3,99	0,156	54	31,56	1704,24	621,82	611,97	1301,28	1278,16
	3	71,20	70,99	71,11	73,00	0,810	3,98	4,02	3,98	3,99	0,156	50	31,56	1578,00	579,78		1218,30	

Yogyakarta, Februari 2026

Diperiksa Oleh
Kepala Laboratorium Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
Ir. Sri Amini Yahya, MT, Ph.D, ASEAN Eng
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T, IPP
NIK : 21 511 1307

Peneliti
Sabri Adrian
NIM : 21 511 172

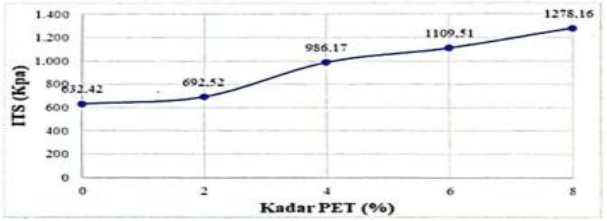
Lampiran 49 Grafik *Indirect Tensile Strenght (ITS)* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 49 Grafik *Indirect Tensile Strenght (ITS)* Aspal Porus Pen 60/70 + PET

Kadar PET (%)	ITS (Kpa)	ITS (Kg/cm²)
0	632,42	6,45
2	692,52	7,06
4	986,17	10,06
6	1109,51	11,31
8	1278,16	13,03



Yogyakarta, Februari 2026

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, MSc., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.,IPP.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Sabri Adrian
NIM : 21 511 172