

**KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN LIMBAH
PLASTIK POLIETILENA TEREFTALAT (PET) SEBAGAI BAHAN
TAMBAH PADA ASPAL**

(Skripsi)

Oleh:

MUHAMMAD ISFAN ARIF

NPM 1715011041



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN LIMBAH PLASTIK POLIETILENA TEREFTALAT (PET) SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA ASPAL

Oleh

MUHAMMAD ISFAN ARIF

Limbah plastik yang merupakan salah satu pencemaran lingkungan terbesar dapat membuka peluang untuk dimanfaatkan di bidang konstruksi jalan raya karena mudah didapat dan harganya yang lebih ekonomis sebagai bahan campuran aspal porus. Mengacu pada hal tersebut, maka dilakukan penelitian terhadap karakteristik campuran aspal porus dengan limbah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET) sebagai bahan tambah pada aspal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan limbah plastik PET terhadap karakteristik pada campuran aspal porus. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen skala laboratorium berdasarkan 3 jenis pengujian yaitu *Marshall*, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down*. Gradasi pada penelitian ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) 2004. Hasil Pengujian menunjukkan penambahan PET dapat meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Nilai stabilitas dan *marshall quotient* meningkat seiring penambahan kadar PET sehingga dapat mencegah patah akibat beban lalu lintas. Nilai VIM menurun karena aspal semakin lengket akibat penambahan PET dan membuat agregat kurang mampu menyerap aspal sehingga tercipta selimut aspal yang lebih tebal yang mengakibatkan rongga udara semakin mengecil. Nilai *cantabro loss* menurun membuat ketahanan campuran terhadap disintegrasi menjadi semakin baik. penambahan kadar PET sampai dengan 7,5% dapat menurunkan nilai *flow* sehingga campuran memiliki kelenturan yang optimal. Tetapi kadar PET yang disarankan sebaiknya dibawah 5% karena pada penelitian ini nilai penetrasi dan daktilitas tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018.

Kata kunci : aspal porus, *polietilena tereftalat*, *marshall*, *cantabro loss*, *asphalt flow down*

ABSTRACT

CHARACTERISTICS OF PORUS ASPHALT MIXTURE WITH POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) PLASTIC WASTE AS ADDITIONAL IN ASPHALT

By

MUHAMMAD ISFAN ARIF

Plastic waste, which is one of the biggest environmental pollutants, can open up opportunities to be utilized in the field of highway construction because it is easy to obtain and has a more economical price as a porous asphalt mixture. Referring to this, a research was carried out on the characteristics of a mixture of porous asphalt with polyethylene terephthalate (PET) plastic waste as an additive to asphalt. The purpose of this study was to determine the effect of the use of PET plastic waste on the characteristics of porous asphalt mixtures. The method used is a laboratory scale experimental method based on 3 types of testing, namely marshall, cantabro loss and asphalt flow down. The gradation in this study used the open graded Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004. The test results showed that the addition of PET could improve the performance of porous asphalt mixtures. The value of stability and marshall quotient increases with the addition of PET content so that it can prevent fracture due to traffic loads. The VIM value decreases because the asphalt becomes stickier due to the addition of PET and makes the aggregate less able to absorb the asphalt resulting in a thicker asphalt blanket which results in smaller air voids. The decrease in the cantabro loss value makes the mixture's resistance to disintegration better. addition of PET content up to 7.5% can reduce the flow value so that the mixture has optimal flexibility. However, the recommended PET content should be below 5% because in this study the penetration and ductility values did not meet the general specifications for 2018 Highways.

Keywords: porous asphalt, polyethylene terephthalate, marshall, cantabro loss, asphalt flow down

**KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN LIMBAH
PLASTIK POLIETILENA TEREFTALAT (PET) SEBAGAI BAHAN
TAMBAH PADA ASPAL**

**Oleh
MUHAMMAD ISFAN ARIF**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Program Studi S1 Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL
PORUS DENGAN LIMBAH PLASTIK
POLIETILENA TEREFTALAT (PET)
SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA ASPAL**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Isfan Arif**

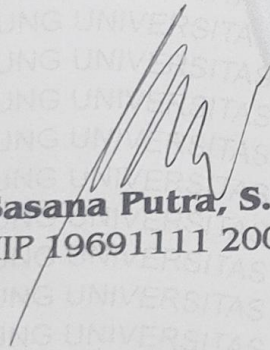
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011041


Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

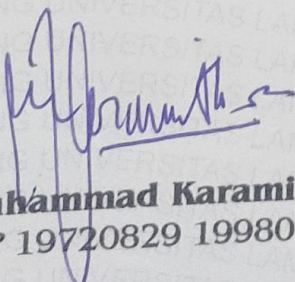
1. Komisi Pembimbing


Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002


Ir. Dwi Herianto, M.T.
NIP 19610102 198803 1 000

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Sasana Putra, S.T., M.T.

Sekretaris : Ir. Dwi Herianto, M.T.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. /
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Maret 2023

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Isfan Arif

NPM : 1715011041

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Judul : Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Limbah Plastik

Polietilena Tereftalat (PET) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri.

Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan

orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan

karya ilmiah yang telah ditetapkan. Ide penelitian didapat dari pembimbing I, oleh

karena itu baik atas data penelitian berada pada saya dan pembimbing I, Bapak

Sasana Putra, S.T., M.T.

Apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya

bersedia menanggung akibat dan sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, 31 Maret 2023



Muhammad Isfan Arif
NPM 1715011041

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Natar, pada tanggal 29 Mei 1999, merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Basuki dan Ibu Sri Nastuti. Penulis memiliki satu orang saudara, yaitu yang bernama Niki Okti Nurul Islami.

Penulis menempuh pendidikan tingkat dasar di SDN 2 CANDIMAS yang diselesaikan pada tahun 2011, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMPN 22 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2014, dan dilanjutkan ke pendidikan tingkat atas di SMAN 5 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2017.

Penulis diterima di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri) pada tahun 2017. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif dalam organisasi HIMATEKS UNILA (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung) sebagai anggota advokasi pada tahun 2018 – 2019 dan anggota media informasi pada tahun 2019 – 2020. Pada tahun 2020 penulis menjadi panitia (Keamanan) pada acara The Biggest Event of Civil Engineering Lampung University The 6th Civil Brings Revolution yang bertema “Build Your Nation For Your Generation”. Pada tahun 2021 penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Candimas, Lampung Selatan selama 40 hari pada periode I, Januari-Februari 2021. Dalam penerapan bidang Teknik Sipil, penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Gedung Kuliah Bersama Jurusan Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung yang berlokasi di Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng, Kecamatan Rajabasa, Kota Bandar Lampung selama 3 bulan terhitung sejak September – November 2021.

Penulis mengambil tugas akhir dengan judul karakteristik campuran aspal porus dengan limbah plastik *polietilena tereftalat* (PET) sebagai bahan tambah pada aspal.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah : 286)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain)”

(QS. Al Insyirah : 6-7)

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi akdirku, dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak pernah melewatkanmu”

(Umar bin Khattab)

“hidup adalah fisika dunia banyak rumus untuk menentukan energi, begitupula hidup banyak cara untuk menuju kesuksesan”

(Muhammad Isfan Arif)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirabil'alamin, Puji sukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan berkahnya kesetiap langkah perjalanan hidupku. Shalawat sertasalam

tak lupa saya haturkan kepada nabi tercinta

Nabi Muhammad SAW

Dan

Saya persembahkan karya tulis ini kepada:

Ayah dan Ibu Tercinta

Terima kasih atas dukungan, kasih sayang serta doa yang tidak pernah putus untuk Isfan, sehingga Isfan dapat menyelesaikan skripsi ini.

Kakakku Tersayang

Terima Kasih kepada kakak Niki yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.

Bapak dan ibu Dosen

Terima kasih atas ilmu yang telah bapak dan ibu berikan, semoga jasa Bapak dan Ibu dapat membawa keberkahan

Teknik Sipil Angkatan 2017 Universitas Lampung

Terima kasih atas dukungan teman-teman himapir 2017, semoga kita semua menjadi orang yang sukses aamiinn.

SANWACANA

Puji syukur Penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*karakteristik campuran aspal porus dengan limbah plastik polietilena tereftalat (PET) sebagai bahan tambah pada aspal*” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW beserta para sahabat-sahabatnya.
2. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu tercinta, Basuki dan Sri Nastuti. Terima kasih atas segala doa, cinta dan kasih sayang, dukungan dan semangat serta perhatian dan kepercayaan yang selalu diberikan yang tidak akan mampu penulis balas segala jasa dan kebaikannya sampai kapanpun. semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan, pengampunan dosa, dilapangkan kuburnya dan keberkahan sebagai balasan atas segala jasa dan kebaikan ayah dan ibu tercinta.
3. Kakakku tersayang, Niki Okti Nurul Islami yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
4. Kepada Delfita Sari terima kasih telah menjadi sosok rumah yang selama ini saya cari. Telah berkontribusi banyak dalam penulisan skripsi ini, meluangkan baik tenaga, pikiran, materi maupun moril dan senantiasa sabar menghadapi saya. Terima kasih sudah menjadi bagian perjalanan saya hingga sekarang ini. Semoga kedepannya dapat

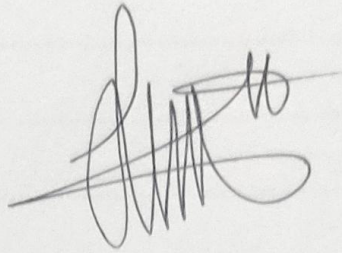
memperbaiki apa-apa yang selama ini dirasa kurang dan ditambahkan apa-apa yang dirasa diperlukan.

5. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
6. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
7. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil.
8. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pertama penulis. Terima kasih atas ilmu, masukan, ide serta saran yang sangat membangun terutama dalam proses menyelesaikan skripsi ini, terima kasih juga atas kebaikannya serta segala pengertian dan kesabaran selama proses penyusunan ini. Semoga segala kebaikan bapak akan selalu membawa keberkahan.
9. Bapak Ir. Dwi Herianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua penulis. Terima kasih sudah bersedia membimbing, mengarahkan dan memberikan ide dalam penyusunan skripsi.
10. Ibu Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang selalu mampu memberikan pengetahuan baru, masukan, serta kritik yang sangat bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini. Semoga segala kebaikan bapak akan selalu membawa keberkahan.
11. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Sipil atas semua ilmu pengetahuan dan didikannya selama masa perkuliahan. serta seluruh staff akademisi mbak suci, mbak ida, dan mbak putri yang telah banyak membantu penulis.
12. Rekan-rekan tersayang yang kerap memberi dukungan sampai penulis menyelesaikan skripsi ini: Santos, Acil, Noval, Ananda yang senantiasa mendengarkan keluh kesah dan teman bermain selama kuliah.
13. Kawan-kawan angkatan 2017 yang telah sama-sama berjuang, maaf jika penulis tidak bisa menyebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Besar harapan penulis agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 31 Maret 2023

Penulis

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the left.

Muhammad Isfan Arif

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Perkerasan Jalan	6
2.2 Aspal Porus.....	7
2.3 Gradasi Aspal Porus	8
2.4 Aspal.....	12
2.5 Aspal Keras Setara Kelas Kinerja (<i>Performance Grade, PG</i>)	15
2.6 Limbah Plastik PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>).....	19
2.7 Karakteristik Uji <i>Marshall</i>	20
2.8 Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	23
2.9 Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	24
III. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Lokasi Penelitian	26
3.3 Bahan-Bahan Penelitian	26
3.4 Peralatan Penelitian	29
3.5 Prosedur Penelitian.....	32
3.6 Pengolahan dan Pembahasan Hasil	58
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Karakteristik Aspal.....	59
4.2 Kadar Aspal Optimum (KAO)	61

4.3	Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Penambahan PET	63
4.4	Karakteristik <i>Marshall</i> Rendaman	71
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1.	Kesimpulan.....	75
5.2.	Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2. 1. Perbedaan Antara Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku	7
Tabel 2. 2. Kriteria Perencanaan Aspal Porus.....	8
Tabel 2. 3. Ketentuan Agregat Kasar	10
Tabel 2. 4. Ketentuan Agregat Halus	11
Tabel 2. 5. Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus	12
Tabel 2. 6. Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi.....	14
Tabel 2. 7 Persyaratan Untuk Aspal Berdasarkan Kelas Kinerja.....	18
Tabel 3. 1. Standar Pemeriksaan Agregat	33
Tabel 3. 2. Hasil Pemeriksaan Agregat.....	34
Tabel 3. 3. Standar Pengujian Aspal	34
Tabel 3. 4. Hasil Pengujian Aspal.....	35
Tabel 3. 5. Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus	36
Tabel 3. 6. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 4,5%	37
Tabel 3. 7. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%	37
Tabel 3. 8. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%	38
Tabel 3. 9. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%	38
Tabel 3. 10. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%	39
Tabel 3. 11. Parameter Perencanaan KAO Campuran Aspal Porus	39
Tabel 3. 12. Variasi Campuran Aspal Porus dengan PET	41
Tabel 3. 13. Jumlah Benda Uji Untuk Mencari KAO.....	42
Tabel 3. 14. Tabel Nilai Parameter VIM, <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Kadar Plastik 0%	47
Tabel 3. 15. Tabel Nilai Parameter VIM, <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Kadar Plastik 5%	49

Tabel 3. 16. Tabel Nilai Parameter VIM, <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Kadar Plastik 7,5%	52
Tabel 3. 17. Tabel Nilai Parameter VIM, <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Kadar Plastik 15%	54
Tabel 3. 18. Jumlah Benda Uji <i>Marshall</i> Rendaman berdasarkan KAO	56
Tabel 4. 1. Hasil Uji Aspal.....	59
Tabel 4. 2. Kadar Aspal Optimum	61
Tabel 4. 3. Pengujian Gmm.....	62
Tabel 4. 4. Perbandingan Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Penambahan PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	63
Tabel 4. 5. Pengaruh Rendaman Terhadap Stabilitas Pada Setiap Nilai KAO	72
Tabel 4. 6. Penambahan PET Terhadap <i>Flow</i> Pada Setiap Nilai KAO	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1. Contoh tipikal macam-macam gradasi agregat	10
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 3. 2. Lanjutan diagram alir penelitian	26
Gambar 3. 3. Laboratorium inti jalan raya.....	26
Gambar 3. 4. Agregat kasar.....	27
Gambar 3. 5. Agregat halus.....	27
Gambar 3. 6. Filler	28
Gambar 3. 7. Aspal penetrasi 60/70	28
Gambar 3. 8. Plastik PET	28
Gambar 3. 9. Satu set alat saringan	29
Gambar 3. 10. Satu set aggregate impact machine	29
Gambar 3. 11. Alat uji marshall	30
Gambar 3. 12. Mesin loss angeles.....	31
Gambar 3. 13. Alat uji asphalt flow down	32
Gambar 3. 14. Rencana gradasi campuran aspal porus.....	36
Gambar 3. 15. Hubungan kadar aspal PET 0% dengan nilai VIM	47
Gambar 3. 16. Hubungan kadar aspal PET 0% dengan nilai cantabro loss	48
Gambar 3. 17. Hubungan kadar aspal PET 0% dengan nilai AFD	48
Gambar 3. 18. Hubungan kadar aspal PET 5% dengan nilai VIM	50
Gambar 3. 19. Hubungan kadar aspal PET 5% dengan nilai cantabro loss	50
Gambar 3. 20. Hubungan kadar aspal PET 5% dengan nilai AFD	51
Gambar 3. 21. Hubungan kadar aspal PET 7,5% dengan nilai VIM	52
Gambar 3. 22. Hubungan kadar aspal PET 7,5% dengan nilai cantabro loss	53
Gambar 3. 23. Hubungan kadar aspal PET 7,5% dengan nilai AFD	53
Gambar 3. 24. Hubungan kadar aspal PET 15% dengan nilai VIM	55

Gambar 3. 25. Hubungan kadar aspal PET 15% dengan nilai cantabro loss	55
Gambar 3. 26. Hubungan kadar aspal PET 15% dengan nilai AFD	55
Gambar 4. 1. Grafik stabilitas terhadap penambahan PET	64
Gambar 4. 2. Grafik <i>flow</i> terhadap penambahan PET	65
Gambar 4. 3. Grafik VMA terhadap penambahan PET	66
Gambar 4. 4. Grafik VIM terhadap penambahan PET.....	67
Gambar 4. 5. Grafik VFA terhadap penambahan PET	68
Gambar 4. 6. Grafik <i>marshall quotient</i> terhadap penambahan PET	69
Gambar 4. 7. Grafik kepadatan terhadap penambahan PET	69
Gambar 4. 8. Grafik <i>cantabro loss</i> terhadap penambahan PET.....	70
Gambar 4. 9. Grafik <i>asphalt flow down</i> terhadap penambahan PET	71
Gambar 4. 10. Grafik stabilitas terhadap lama perendaman	72
Gambar 4. 11. Grafik <i>flow</i> terhadap lama perendaman	73

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah plastik adalah salah satu sampah yang paling banyak ditemukan dan menjadi sumber pencemaran lingkungan hidup. Menurut perkiraan Bank Dunia pada tahun 2021 Indonesia menghasilkan sekitar 7,8 juta ton sampah plastik setiap tahun dan sebanyak 4,9 juta ton sampah plastik tidak dikelola dengan tepat serta diperkirakan 346,5 kton/tahun sampah plastik dibuang dari darat ke laut dimana dua pertiganya berasal dari pulau Jawa dan Sumatra. Limbah plastik memiliki banyak sisi negatifnya seperti tercemarnya tanah, air tanah dan makhluk bawah tanah. Namun limbah plastik juga dapat membuka peluang untuk dimanfaatkan di bidang konstruksi jalan raya. Pada kesimpulan tesis (Asrar 2007) disebutkan bahwa penambahan limbah plastik dalam aspal akan memberikan pengaruh yang baik terhadap sifat-sifat aspal. Hasil pengujian marshall terhadap campuran beraspal yang mengandung plastik menunjukkan bahwa penambahan kadar plastik sampai dengan 3% pada aspal meningkatkan nilai stabilitas, berat isi, kepadatan agregat yang dipadatkan (CAD) dan marshall Quotient campuran HRA. Dengan penambahan plastik pada aspal, nilai deformasi permanen campuran dari hasil tes jejak roda mengalami penurunan dan menyebabkan peningkatan terhadap stabilitas dinamis.

Selain itu, limbah plastik sangat mudah didapatkan dan juga bernilai ekonomis sebagai bahan campuran aspal yang dimana campuran beraspal masih merupakan lapis penutup perkerasan jalan yang dominan di Indonesia. Salah satu jenis campuran beraspal adalah aspal porus (*porous asphalt*) yang

menurut (Diana 2004) merupakan campuran beraspal panas bergradasi terbuka dengan persentase agregat kasar yang besar, persentase agregat halus yang kecil, sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan air jika hujan, sehingga air tidak tergenang dipermukaan jalan.

Australian Asphalt Pavement Association (2004) menentukan kadar rongga di dalam campuran aspal porus (VIM) bernilai 18%-25%. Karena nilai kadar rongga yang terlalu tinggi ini mengakibatkan campuran menjadi tidak padat, maka campuran beraspal porus ini umumnya sangat tergantung dari mutu dan kekakuan aspal sebagai bahan pengikat agregat. Dalam hal ini plastik mempunyai sifat kekakuan yang berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal porus yang memerlukan aspal hasil modifikasi. Menurut (Anonim 2004) aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah, penambahan ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal antara lain penetrasi, kekentalan (viskositas), dan titik leleh. Salah satu *modifier*, yang banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas campuran beraspal adalah polimer. Sementara plastik merupakan bahan yang mengandung senyawa polimer. Dengan demikian limbah plastik berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Rusyda DS 2018) tentang kajian eksperimental campuran aspal porus dengan bahan tambahan plastik hdpe (high density poly ethylene), dimana dengan persentase variasi plastik 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% pada campuran aspal porus dapat meningkatkan nilai stabilitas, nilai rata-rata stabilitas tertinggi pada kadar plastik HDPE 15% sebesar 514,43 kg. Nilai flow juga semakin meningkat dengan nilai rata-rata flow tertinggi pada kadar plastik HDPE 20% sebesar 3,3 mm. Namun, nilai VIM semakin menurun dengan nilai rata-rata VIM terendah pada kadar plastik HDPE 20% sebesar 14,22%. Nilai rata-rata cantabro loss sebesar 17,94% adalah nilai terbaik yang didapatkan pada kadar plastik HDPE 15%.

Sedangkan nilai permeabilitas mengalami penurunan hingga kadar plastik HDPE 20% dengan nilai rata-rata tertinggi sebesar 0,123 cm/det. Nilai binder drain down mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar plastik, nilai rata-rata terendah terdapat pada kadar plastik HDPE 20% yaitu 0,0302%.

Mengacu pada hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian terhadap karakteristik campuran aspal porus dengan limbah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET) sebagai bahan tambah pada aspal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar pengaruh dari penggunaan limbah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET) sebagai bahan tambah aspal terhadap karakteristik campuran aspal porus?
2. Bagaimana perbandingan karakteristik aspal porus dengan bahan tambah *Polietilena Tereftalat* (PET) dengan perlakuan tanpa rendaman dan dengan rendaman 30 menit?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan limbah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET) terhadap karakteristik pada campuran aspal porus.
2. Untuk mengetahui perbandingan karakteristik aspal porus dengan bahan tambah *Polietilena Tereftalat* (PET) dengan perlakuan tanpa rendaman dan dengan rendaman 30 menit.

1.4 Batasan Penelitian

Berikut adalah batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

- a. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- b. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70.
- c. Campuran aspal yang digunakan adalah campuran aspal porus.
- d. Bahan *additive* aspal yang digunakan adalah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET).
- e. Penelitian ini didasarkan pada pengujian *marshall*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down* untuk mengetahui kinerja campuran aspal porus dengan limbah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET) yaitu pada nilai stabilitas, *flow*, *VIM*, *VMA*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

- a. Dapat mengoptimalkan limbah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET) sebagai bahan *additive* untuk campuran aspal.
- b. Sebagai inovasi dalam bidang infrastruktur jalan dengan penggunaan limbah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET) pada campuran aspal porus.
- c. Untuk memberikan pemahaman tentang perbandingan karakteristik pada campuran beraspal dengan bahan tambahan limbah plastik *Polietilena Tereftalat* (PET).

1.6 Sistematika Penulisan

I. Pendahuluan

Pada bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

II. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan pembahasan dari teori-teori dan rumus-rumus yang digunakan untuk menunjang penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber.

III. Metodologi Penelitian

Bab ini berisi penjelasan metode yang digunakan dalam penelitian untuk

mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data.

IV. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian yang dilakukan mencakup hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan data berdasarkan hasil yang diperoleh dan teori yang ada.

V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini akan berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian ini dan saran. Pada akhir penulisan skripsi ini akan dilampirkan daftar pustaka sebagai referensi penunjang yang digunakan dan lampiran yang berisikan data-data penunjang dalam proses pengolahan data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Menurut Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022, jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan penghubung, bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel. Jalan memiliki suatu lapisan yang berada di atas tanah dasar yang sudah dipadatkan, fungsi dari lapisan tersebut untuk memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke tanah dasar agar beban yang diterima tanah dasar tidak melebihi daya dukung tanah yang diijinkan, dimana hal ini disebutkan (Sukirman 1999) sebagai pengertian dari perkerasan jalan. Menurut (Sukirman 1999) dilihat dari bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan dengan bahan pengikatnya berupa aspal. Lapisan-lapisan perkerasan ini berfungsi sebagai pemikul beban lalu lintas yang kemudian disebarkan ke tanah dasar agar beban yang diterima tanah dasar tidak melebihi daya dukung tanah yang diijinkan.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), merupakan salah satu perkerasan jalan dengan bahan pengikat berupa semen (*Portland Cement*). Perkerasan ini menggunakan pelat beton dengan atau tanpa tulangan yang diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah, dimana pelat beton memikul sebagian besar beban lalu lintas pada perkerasan kaku.

3. Konstruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*), yaitu perkerasan kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku yang berupa perkerasan lentur berada di atas perkerasan kaku ataupun perkerasan kaku berada diatas perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini bekerjasama dalam memikul beban lalu lintas, dimana salah satu syaratnya adalah ketebalan perkerasan aspal harus mempunyai kekakuan yang cukup agar dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan.

Perbedaan utama antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1. Perbedaan Antara Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku

Aspek Tinjauan	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
Bahan Pengikat	Aspal	Semen
Repetisi Beban	Timbul <i>Rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
Penurunan Tanah Dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok di atas perletakan
Perubahan Temperatur	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah. Timbul tegangan dalam yang besar.

Sumber : Sukirman, S., (1999), Perkerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit Nova, Bandung.

2.2 Aspal Porus

Aspal porus adalah campuran aspal yang sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Lapisan ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang didominasi oleh agregat kasar, sehingga menghasilkan rongga yang cukup besar (Y.G, Fenny Putri 2013). Campuran aspal porus merupakan campuran aspal panas antara agregat bergradasi terbuka dengan aspal modifikasi dengan perbandingan tertentu (Saleh 2014). Aspal porus dirancang dengan menggunakan proporsi agregat kasar yang relatif besar yaitu lebih dari 80% (Cetin 2013). Aspal Porus merupakan jenis perkerasan yang didesain untuk memperoleh angka pori yang tinggi (28 – 32%) dengan

tetap menjaga kadar aspal campuran sehingga tidak menimbulkan floating maupun bleeding (Djumari & Sarwono 2009). Selain itu, aspal porus juga dikenal sebagai teknologi yang inovatif karena memungkinkan air masuk melalui rongga di permukaan aspal ke dalam tanah secara terus-menerus (Al-Jumaili 2016). Menurut (Prawiro 2014), aspal porus mempunyai stabilitas yang rendah tetapi memiliki permeabilitas yang tinggi yang disebabkan oleh banyaknya rongga antar agregat. Upaya dalam meningkatkan nilai stabilitas dapat dilakukan dengan memodifikasi aspal dengan bahan aditif atau bahan tambahan. Bahan aditif atau bahan tambahan yang dapat menaikkan stabilitas aspal porus dapat berupa polimer seperti plastik.

Penelitian yang dilakukan oleh penulis ini berdasarkan kriteria perencanaan aspal porus sesuai standar *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* tahun 2004 yang dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2. 2. Kriteria Perencanaan Aspal Porus

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Koefisien Permeabilitas	0,1 – 0,5 cm/s
2	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 500
3	Kelelahan <i>Marshall</i> (mm)	2 – 6
4	Kekakuan <i>Marshall</i> (MQ kg/mm)	Maks. 400
5	Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM %)	18 – 25
6	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	Maks. 35
7	Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	Maks. 0,3
8	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association (AAPA), 2004

2.3 Gradasi Aspal Porus

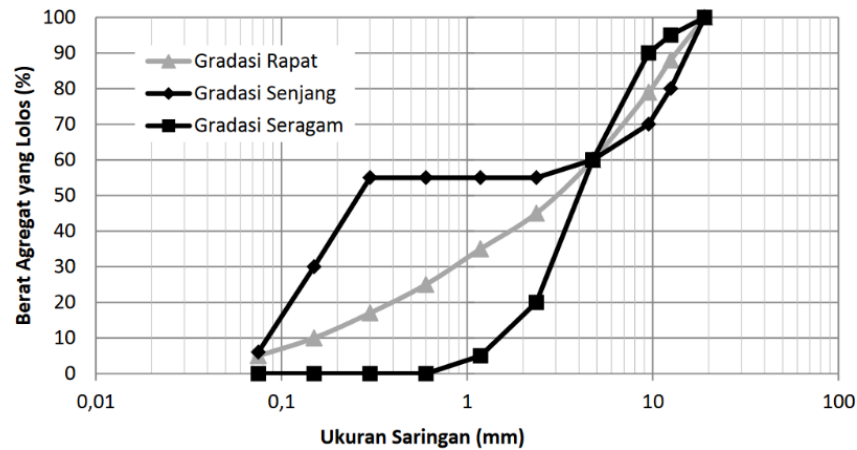
Gradasi merupakan distribusi partikel agregat yang berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu (I Gusti, 2015). Sedangkan Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam

maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Sukirman, 2016).

Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan kemudahan pengerjaan dan stabilitas campuran. Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Gradasi agregat memiliki satuan dalam persentase tertahan ataupun persentase lolos yang dihitung dari berat agregat (Juharni, Rudi, 2015). Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan. Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

- a. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*) adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga dengan gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas rendah dan memiliki berat isi yang kecil.
- b. Gradasi Rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus. Campuran dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.
- c. Gradasi Senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Campuran beraspal dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari keadaan campuran dengan gradasi yang disebutkan di atas.

Grafik ukuran agregat untuk tipikal macam-macam gradasi agregat ditunjukkan pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1. Contoh tipikal macam-macam gradasi agregat

Sedangkan, pembagian agregat menurut Bina Marga (2002) adalah:

1. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butiran-butiran lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm) dan dilakukan pengayakan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung.

Tabel 2. 3. 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	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	Maks. 5%
	Lainnya	perbandingan 1 : 5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.1a

Catatan:

(*) 100/95 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

(**)95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm). Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Ketentuan agregat halus dapat dilihat pada tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2. 4. Ketentuan Agregat Halus

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

Sumber: *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.2)*

3. Bahan pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan no. 200 (0,075 mm).

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal porus yang dikutip dari *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004* menggunakan campuran aspal bergradasi terbuka. Dimana tujuan dari agregat terbuka ini untuk meningkatkan nilai permeabilitas yang tinggi sehingga air dapat mengalir masuk ke dalam perkerasan dan meresap ke dalam tanah. Adapun gradasi agregat campuran aspal porus disajikan pada tabel 2.5 di halaman selanjutnya.

Tabel 2. 5. Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

Ukuran Saringan		Berat yang Lolos (%)	
mm	in	Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 14 mm
19,000	3/4"	100	100
12,700	1/2"	100	85 – 100
9,530	3/8"	85 – 100	45 – 70
4,760	No. 4	20 – 45	10 – 25
2,380	No. 8	10 – 20	7 – 15
1,190	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
0,074	No. 200	2 – 5	2 – 5
Total		100	100
Kadar Aspal		5,0 – 6,5	4,5 – 6,0

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004

2.4 Aspal

Bitumen adalah zat perekat material (viscous cementitious material) yang berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, dan dapat diperoleh di alam maupun sebagai hasil produksi. Bitumen dapat berupa aspal, tar, atau pitch. Aspal merupakan material yang paling umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu seringkali bitumen disebut pula sebagai aspal (Sukirman, 2016). Aspal adalah material termoplastik yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Banyaknya aspal yang menjadi campuran perkerasan jalan berkisar antara 4 - 10% berdasarkan berat campuran atau 10 - 15% berdasarkan volume campuran. Fungsi kandungan aspal dalam campuran dapat berperan sebagai selimut agregat dalam bentuk film aspal yang berfungsi menahan gaya gesek permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang juga berarti mengurangi infiltrasi air ke dalam campuran.

a. Aspal Keras / *Asphalt Cement*

Menurut SNI 2432-2011, aspal keras adalah aspal yang bersifat viskoelastik baik berupa aspal alam atau aspal modifikasi (aspal yang

diberi bahan tambah seperti polimer). Aspal keras dapat dikelompokkan berdasarkan nilai penetrasinya pada temperatur ruang ($25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$), yaitu: pen 40/50, pen 60/70, pen 85/100, pen 120/150, pen 200-300. Semakin kecil angka penetrasi maka aspal akan semakin keras, semakin susah cara penanganannya karena diperlukan suhu yang lebih tinggi agar aspal dapat menjadi lunak atau cair. Sebaliknya semakin tinggi angka penetrasi maka aspal akan mudah encer. Di Indonesia aspal yang sering digunakan adalah aspal pen 60/70.

b. Aspal Modifikasi

Aspal Modifikasi biasa dikenal dengan *Polymer Modified Asphalt* merupakan aspal minyak yang ditambah dengan bahan tambah (*additive*) untuk meningkatkan kinerjanya. di Indonesia aspal modifikasi digunakan untuk meningkatkan ketahanan aspal terhadap suhu (menaikkan titik leleh), membuat aspal menjadi lebih lengket (menaikkan adhesi) yang membuat agregat lebih menyatu, dan membuat aspal yang tahan terhadap penuaan (*anti aging*). Pada penelitian ini aspal modifikasi dibuat dengan mencampurkan limbah plastik PET pada aspal keras penetrasi 60/70.

Ketentuan untuk aspal keras penetrasi telah diatur oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, dapat dilihat pada Tabel 2.6. di halaman selanjutnya:

Tabel 2. 6. Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60- 70	Tipe II Aspal Modifikasi Elastomer	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 1,0 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤ 2,2	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2	-	-
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8		
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000		70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah P AV (SNI 0 3-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.5 halaman 40-41

Catatan :

- 1) Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan pada pasal 6.3.2.6.a. Sedangkan untuk pengendalian mutu dilapangan, ketentuan aspal dengan penetrasi ≥ 50 adalah ± 4 (0,1 mm) dan untuk aspal keras penetrasi < 50 adalah ± 2 (0,1 mm), masing-masing dari nilai penetrasi yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.
- 2) Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang diisyaratkan pada pasal 6.3.2.6.a. Sedangkan untuk pengendalian mutu di lapangan, ketentuan titik lembek diterima adalah ± 1 °C dari nilai titik lembek yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.

2.5 Aspal Keras Setara Kelas Kinerja (*Performance Grade, PG*)

Shell bitumen handbook fifth edition tahun 2003 disebutkan bahwa *Shell* telah menyelidiki hubungan antara sifat aspal tingkat penetrasi yang diukur di laboratorium dan kinerjanya dalam campuran aspal di jalan raya. *Shell Global Solutions* telah mengembangkan serangkaian pengujian laboratorium untuk menilai kualitas aspal. Untuk memudahkan penilaian, hasil pengujian disajikan dalam bentuk poligon beraturan, yang disebut *bitumen qualagon*. Adapun pengujian dalam *qualagon* yang mencakup tiga elemen kinerja utama yang tersisa yaitu:

1. *Cohesion*

Kohesi merupakan kemampuan dalam mengikat unsur penyusun dari dalam sehingga berhasil memiliki nilai daktilitas yang bagus. Kekuatan kohesif aspal dicirikan oleh daktilitas pada temperatur rendah. Dalam kondisi ini, pengujian yang telah ditemukan *Shell Global Solutions* adalah untuk membedakan antara bitumen dengan kekuatan kohesif yang berbeda.

2. *Adhesion*

Adhesi adalah kemampuan partikel aspal untuk melekat satu sama lainnya atau sering disebut daya rekat aspal. karakteristik daya rekat aspal dinilai

dengan uji sisa *marshall*. Hasil uji laboratorium bersama dengan pengamatan kinerja dalam praktek yang dilakukan oleh *Shell Global Solutions* telah mengidentifikasi hubungan kunci antara sifat fungsional dan komposisi aspal. Karya ini telah menunjukkan bahwa jika distribusi berat molekul dan komposisi kimia aspal tidak seimbang, hal itu dapat menunjukkan ketidakhomogenan yang dapat mempengaruhi sifat kohesif dan adhesi aspal.

3. *Durability*

Daya tahan dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk mempertahankan reologi, kohesi, dan adhesi yang memuaskan dalam layanan jangka panjang. Sebagai bagian dari kriteria kualitas aspal, *Shell Global Solutions* telah mengidentifikasi faktor daya tahan utama:

- oxidative hardening
- evaporative hardening
- exudative hardening

Pengerasan karena oksidasi telah lama dianggap sebagai penyebab utama penuaan. Untuk itu *Shell Global Solutions* melakukan pengujian *rolling thin-film oven test* (RTFOT). RTFOT adalah uji penuaan dan pengukuran pengerasan dengan oksidasi dan penguapan. Hasil tes berkorelasi dengan kecenderungan pengerasan campuran pada suhu tinggi saat kontak lama dengan udara. Hal ini menunjukkan saat pengujian RTFOT nilai penetrasi akan menurun dan titik lembek meningkat.

Shell Global Solutions telah memastikan bahwa *qualagon* memberikan ukuran kuantitatif yang memuaskan dari kualitas aspal dan kinerjanya dalam pelayanan. Aspal berkualitas baik umumnya memiliki properti di dalam area pilihan dari *qualagon*. Akan tetapi, ini tidak berarti bahwa aspal yang sebagian berada di luar area *qualagon* adalah aspal yang buruk atau berkualitas buruk. Untuk alasan ini, *qualagon* tidak cocok untuk tujuan spesifikasi tetapi merupakan alat penilaian yang sangat berharga yang memberikan panduan yang sangat baik untuk kinerja dalam layanan.

Dalam *Shell bitumen handbook fifth edition* tahun 2003 disebutkan juga bahwa di Amerika Serikat pada tahun 1987 telah dimulai *Strategic Highways Research Program* (SHRP) yang merupakan upaya terkoordinasi untuk menghasilkan spesifikasi yang rasional untuk bitumen dan aspal berdasarkan parameter kinerja. Motivasinya adalah untuk menghasilkan perkerasan yang berkinerja baik dalam pelayanan. Perkerasan ini disebut *superpave* (*superior performing pavement*). Salah satu hasil dari pekerjaan ini adalah spesifikasi pengikat aspal *superpave* yang mengkategorikan kadar aspal sesuai dengan karakteristik kinerjanya dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Hal ini dimaksudkan untuk mengontrol deformasi permanen, retak suhu rendah dan kelelahan pada perkerasan aspal.

Dalam spesifikasi *superpave*, dua uji penuaan dilakukan yaitu *rolling thin-film oven test* (RTFOT) yang mensimulasikan penuaan selama pembuatan aspal dan *pressure ageing vessel* (PAV) yang diyakini mensimulasikan penuaan dalam layanan. Tes PAV dikembangkan untuk mengevaluasi penuaan dalam layanan jangka panjang. Perangkat menggunakan tekanan dan suhu untuk mengompres waktu sehingga penuaan jangka panjang dapat disimulasikan hanya dalam 20 jam. Sampel aspal yang diuji telah melalui proses penuaan pada pengujian RTFOT dan kemudian ditempatkan di PAV untuk penuaan lebih lanjut. Setelah pengujian PAV, residu aspal digunakan untuk pengujian DSR, BBR dan *direct tension tests*.

Standar Nasional Indonesia (SNI) 8426:2017 tentang Spesifikasi Aspal Keras Setara Kelas Kinerja yang disusun untuk memenuhi kebutuhan pasar akan adanya spesifikasi mengenai aspal yang didasarkan pada kondisi di lapangan. Standar ini mengacu pada AASHTO M 320-10 *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*. Dalam SNI 8426:2017 Pengujian untuk mengklasifikasi aspal *performance grade* menggunakan peralatan RGD (DSR, *Dynamic Shear Rheometer*) dan PAV (*Pressure Aging Vessel*), sedangkan peralatan BBR dan DTT tidak tersedia karena dianggap tidak sesuai dengan temperatur minimum di Indonesia (minimum 15 °C).

Terdapat dua nilai *Performance Grade* dimana nilai pertama menyatakan temperatur tertinggi lapisan beraspal tanpa deformasi, dengan batasan nilai minimal $G^*/\sin \delta$ adalah 1 kPa, sedangkan nilai kedua menyatakan temperatur terendah lapisan beraspal tanpa retak di lokasi aspal tersebut ditempatkan, dengan batasan nilai maksimal $G^*.\sin \delta$ adalah 5.000 kPa. Berdasarkan SNI 8426:2017 Aspal harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagaimana yang tercantum pada tabel 2.7 berikut:

Tabel 2. 7 Persyaratan Untuk Aspal Berdasarkan Kelas Kinerja

No.	Jenis Pengujian	Standar	PG 58	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
Aspal Segar							
1.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/dtk $\geq 1,0$ kPa, ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-6442-2000	58	64	70	76	82
2.	Titik Nyala COC ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 2433 : 2011			≥ 230		
3.	Viskositas Dinamis pada 135°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000			≤ 3.0		
4.	Penetrasi pada 25°C , 100 g, 5 detik (0.1mm)	SNI 2456 : 2011			Dilaporkan ¹⁾		
5.	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 2434 :2011			Dilaporkan ²⁾		
6.	Kelarutan dalam <i>trichloroethylene</i> (%)	SNI 2438:2015			≥ 99		
7.	Stabilitas penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	ASTM 5976 part 6.1 dan SNI 2434 : 2011		-		$\leq 2,2$	
Residu aspal segar setelah RTFOT (SNI-03-6835-2002) atau TFOT (SNI 06-2440-1991)							
8.	Berat yang hilang (%)	SNI 03-6835-2002 atau SNI 06-2440-1991			$\leq 0,8$		
9.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/dtk $\geq 2,2$ kPa, ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-6442-2000	58	64	70	76	82
Residu aspal TFOT atau RTFOT setelah PAV (SNI ASTM D6521:2012) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa.							
10.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/dtk ≤ 5000 kPa, ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-6442-2000	25	28	31	34	37

Catatan:

¹⁾ Diperlukan untuk pengendalian mutu di lapangan dengan ketentuan untuk aspal dengan penetrasi ≥ 50 adalah ± 4 (0,1 mm) dan untuk aspal dengan penetrasi < 50 adalah ± 2 (0,1 mm)

²⁾ Diperlukan untuk pengendalian mutu di lapangan dengan ketentuan titik lembek diterima kalau paling sedikit memiliki nilai -1 dari nilai titik lembek yang dilaporkan.

Sumber: Badan Standarisasi Nasional, SNI 8426:2017 Spesifikasi Aspal Setara Kelas Kinerja Tabel 1 halaman 3

2.6 Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)

Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) adalah resin polimer plastik termoplast dari kelompok polyester. Plastik PET merupakan polimer jernih dan kuat dengan sifat-sifat penahan gas dan kelembapan. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) pertama kali ditemukan pada tahun 1973, dan pertama kali di daur-ulang pada tahun 1977. PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan resin polyester yang tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk ketika panas dengan kepekatannya sekitar 1,35 – 1,38 gram/cc (N., M. Fadil, 2017). Menurut N., M. Fadil (2017) juga plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintetis, botol minuman dan wadah makanan, aplikasi thermoforming, dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dapat berwujud padatan transparan atau sebagai bahan semi kristal yang putih dan tidak transparan, tergantung kepada proses dan riwayat termalnya. Monomernya dapat diproduksi melalui esterifikasi asam tereftalat dengan etilen glikol, dengan air sebagai produk sampingnya. Monomer PET (*Polyethylene Terephthalate*) juga dapat dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi etilen glikol dengan dimetil tereftalat dengan metanol sebagai hasil samping. Polimer PET (*Polyethylene Terephthalate*) 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). Menurut (Zoorob S.E, 2000) pencampuran plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal terdapat dua atau cara yaitu dengan cara basah dan kering:

1. Cara basah (*wet process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, mixer kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi ini harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.

2. Cara kering (*dry process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara kering ini lebih mudah karena hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Kekurangan cara ini adalah harus benar-benar dapat dipertanggungjawabkan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan/dicampurkan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (M. Fadil N., 2017) tentang pengaruh penambahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) terhadap karakteristik campuran laston AC-WC di laboratorium menyimpulkan adanya peningkatan nilai stabilitas *mashall*. Hal ini menunjukkan meningkatnya daya ikat aspal dan agregat. Selain itu penambahan PET pada campuran AC-WC juga meningkatkan nilai *flow* yang menandakan bahwa campuran bersifat plastis. Hasil pengujian *Whell Tracking Machine* dengan adanya penambahan PET, membuat nilai stabilitas dinamis meningkat dibandingkan tanpa adanya penambahan PET. Selain itu penambahan PET sampai dengan kadar 2% pada total campuran telah memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2010.

2.7 Karakteristik Uji *Marshall*

Metode *Marshall* adalah metode yang paling umum digunakan dan distandarisasikan dalam *American Society for Testing and Material* 1993 (ASTM D, 1997). Parameter *Marshall* yaitu terdiri dari 3 parameter yaitu:

1. Beban maksimum yang dapat diterima benda uji sebelum hancur atau disebut dengan *Marshall Stability*
2. Deformasi permanen dari benda uji sebelum hancur atau disebut *Marshall Flow*
3. Turunan atau perbandingan antara *Marshall Stability* dan *Marshall Flow* yang biasa disebut *Marshall Quotient* (MQ).

Pengujian *Marshall* menggunakan alat tekan *Marshall* yang dilengkapi dengan cincin penguji (*Proving Ring*) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flow meter*. Benda uji *Marshall* standar berbentuk silinder dengan tinggi 2,5 inch (6,35 cm) dan berdiameter 4 inch (10,16 cm). Adapun beberapa karakteristik *Marshall* campuran aspal panas ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut:

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap atau kerusakan permanen, seperti: bergelombang, alur, bleeding, retak, pecah, dan bolong (Sukirman, 1999). Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (kohesi) dan kadar aspal dalam campuran. Pada penelitian ini menggunakan campuran aspal porus modifikasi dengan nilai stabilitas campuran minimal 500 kg menurut Spesifikasi AAPA 2004.

2. Kelelehan (*Flow*)

Nilai kelelehan (*flow*) diperlukan untuk mengetahui deformasi vertikal campuran saat dibebani hingga mengalami kehancuran (pada stabilitas maksimum). Nilai *flow* diperoleh dengan pembacaan langsung jarum *Proving Ring* pada alat uji *Marshall*.

3. Rongga dalam Campuran (VIM)

Void in The Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara

mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran. Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan bleeding karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Nilai VIM yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume b.u}}{B.J. \text{ maksimum teoritis}} \dots\dots\dots (1)$$

Berat jenis maksimum teoritis:

$$BJ = \frac{100}{\frac{\% \text{ agr}}{BJ. \text{ agr}} + \frac{\% \text{ aspal}}{BJ. \text{ aspal}}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

B.J Teoritis : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc).

4. Rongga dalam Agregat (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kedapn campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas. Nilai VMA dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \% \text{ aspal}) \times \text{berat volume}}{B.J. \text{ agregat}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

%Aspal : Kadar aspal terhadap campuran (%)

B.J. Agregat : Berat jenis efektif

5. Rongga Terisi oleh Aspal (VFA)

Void Filled with Bitumen (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran dengan kata lain VFA menentukan stabilitas.

6. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan kelelahan (*flow*). Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Nilai MQ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = nilai stabilitas terkoreksi (kg)

F = nilai *flow* (mm)

2.8 Pengujian *Cantabro Loss*

Cantabro Loss adalah proses berkurangnya berat sampel akibat pengaruh tumbukan yang terjadi dalam mesin *Loss Angeles Abrasion Test* (Muh. Nasir T, 2013). Pengujian *Cantabro Loss* ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan lapis perkerasan terhadap keausan atau kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi dengan menggunakan mesin *Loss Angeles* tanpa bola baja (Winayati, dkk. 2018). Nilai *Cantabro Loss* meningkat sesuai dengan peningkatan proporsi agregat kasar. Hal ini terjadi karena bertambahnya proporsi agregat kasar akan mengakibatkan kurang kuatnya ikatan antar butiran (Muh. Nasir T, 2013). Nilai *cantabro loss* dapat dihitung menggunakan persamaan yang mengacu pada ASTM C-131 seperti berikut:

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

L = persentase kehilangan berat (%)

MO = berat sebelum diabrasi (gr)

Mi = berat setelah diabrasi (gr)

2.9 Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD)

Untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal, maka dilakukan uji *asphalt flow down* (AFD). Besarnya nilai AFD disyaratkan lebih kecil dari 0,3% untuk menentukan nilai AFD digunakan uji pengaliran *asphalt flow down* seperti persamaan yang mengacu pada AASHTO T 305 sebagai berikut:

$$AFD = \left(\frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \right) \times 100 \% \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

AFD = nilai *asphalt flow down* (%)

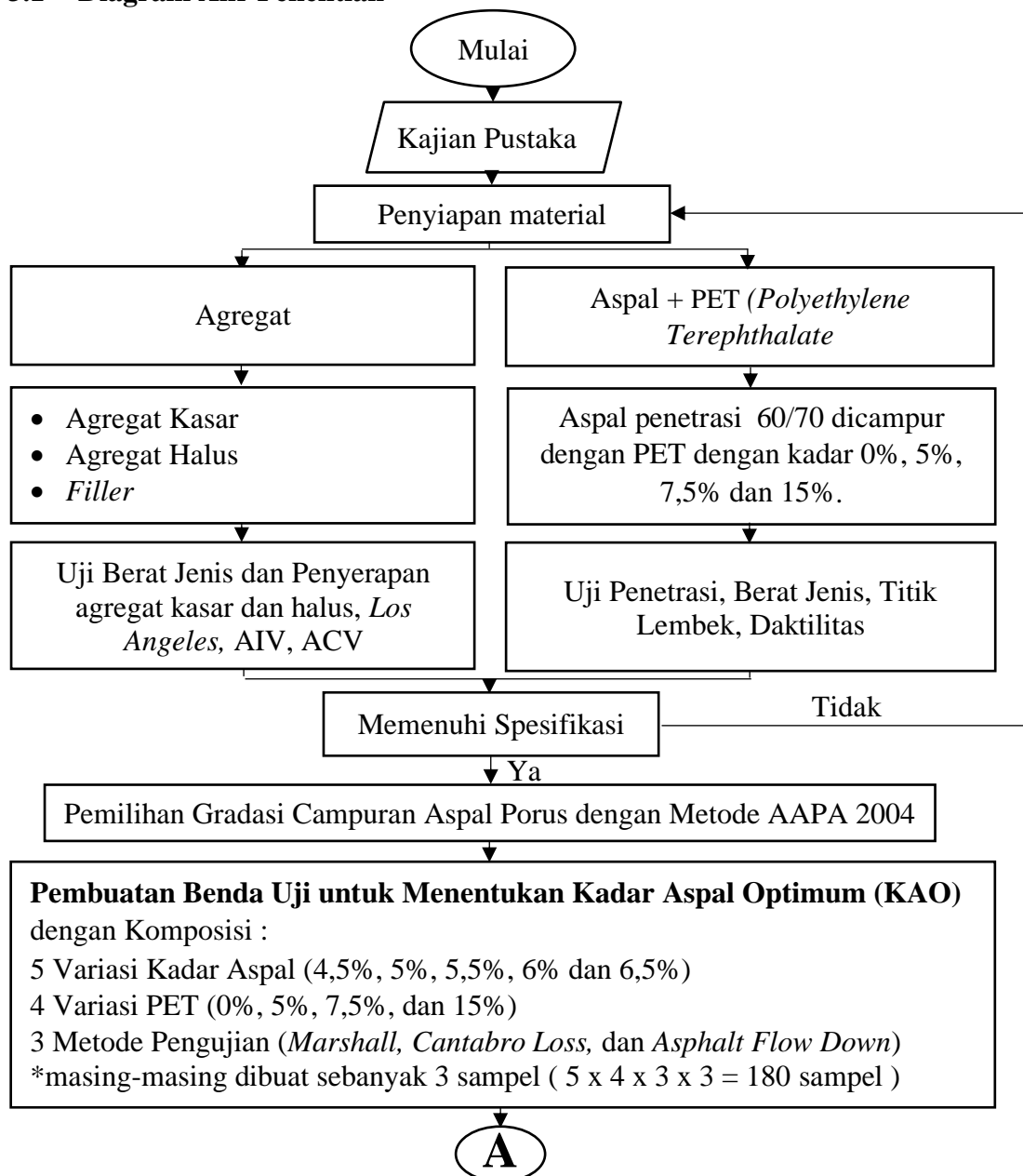
m1 = berat cetakan nampan (gr)

m2 = berat cetakan beserta campuran aspal sebelum dioven (gr)

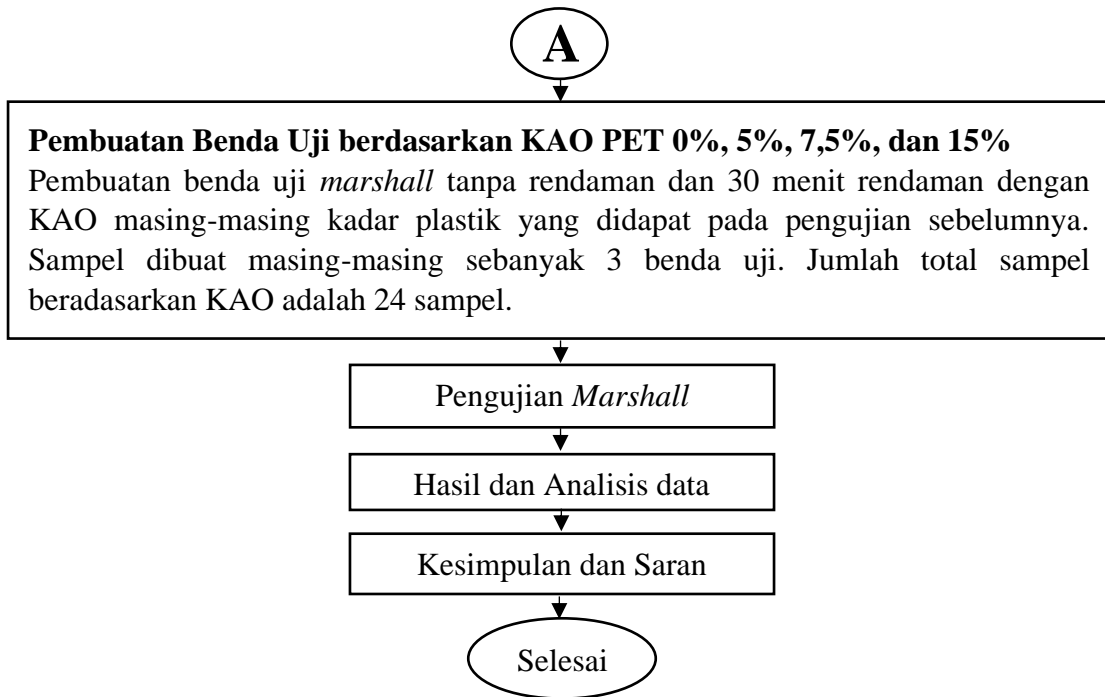
m3 = berat cetakan beserta campuran aspal sesudah dioven (gr)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian



Gambar 3. 2. Lanjutan diagram alir penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.



Gambar 3. 3. Laboratorium inti jalan raya

3.3 Bahan-Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Jenis agregat kasar yang digunakan yaitu tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) berasal dari Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung seperti terlihat pada gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3. 4. Agregat kasar

2. Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm) berasal dari Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung seperti terlihat pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3. 5. Agregat halus

3. *Filler* atau material lolos saringan No.200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu. *Filler* dapat dilihat pada gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3. 6. *Filler*

4. Aspal yang digunakan pada penelitian ini aspal keras dengan penetrasi 60/70 seperti terlihat pada gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3. 7. Aspal penetrasi 60/70

5. Bahan tambah berupa PET (*Polyethylene Terephthalate*) seperti terlihat pada gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3. 8. Plastik PET

3.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu Set Alat Saringan/Ayakan (*Sieve*)

Penggunaan alat saringan digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat menurut ukurannya. Satu set alat saringan dapat dilihat pada gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3. 9. Satu set alat saringan

2. Alat Uji Pemeriksaan Agregat

Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), alat pengering yaitu oven, timbangan berat, dan alat uji untuk berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).



Gambar 3. 10. Satu set *aggregate impact machine*

3. Alat Uji Karakteristik Campuran Agregat dan Aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, sebagai berikut:

- a. Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kapal penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flow meter*.
- b. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 inci (10,16 cm) dan tinggi 3 inci (7,5 cm).
- c. Cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
- d. *Marshall Automatic Compactor* yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 50 kali tumbukan untuk tiap sisi (atas dan bawah).
- e. *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- f. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi dengan suhu pengatur.
- g. Alat-alat penunjang yang meliputi penggorengan, pencampur, kompor pemanas, thermometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan, ember untuk merendam benda uji, jangka sorong, pan, dan *tipe-x* yang digunakan untuk menandai benda uji.



Gambar 3. 11. Alat uji *marshall*

Peralatan yang digunakan merupakan peralatan standar pembuatan benda uji *Marshall* yang dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

4. Alat Uji *Cantabro Loss*

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan benda uji *Cantabro Loss* adalah peralatan yang sama dengan pembuatan benda uji *Marshall*. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk pengujian *Cantabro Loss* adalah mesin *Los Angeles* tanpa bola baja dan timbangan digital dengan ketelitian 0,001 gr. mesin *Los Angeles* untuk pengujian *Cantabro Loss* dapat dilihat pada gambar 3.12 di bawah ini.



Gambar 3. 12. Mesin *loss angeles*

5. Alat Uji *Asphalt Flow Down*

Peralatan yang digunakan untuk pengujian *Asphalt Flow Down* antara lain:

- a. Nampan dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm.
- b. Kertas Alumunium Foil.
- c. Timbangan digital dengan ketelitian 0,001 gr.
- d. Alat pengering berupa *oven*.
- e. Alat-alat untuk mencampurkan bahan-bahan yaitu kompor, penggorengan, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, dan kain lap.



Gambar 3. 13. Alat uji *asphalt flow down*

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian akan dijelaskan sebagai berikut.

3.5.1 Studi Literatur

Studi literatur digunakan sebagai referensi teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi ini didapatkan dari buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian.

3.5.2 Pengambilan Bahan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan proses penyiapan bahan dan pengecekan peralatan yang akan digunakan. Persiapan bahan meliputi agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal penetrasi 60/70, dan bahan tambahan yaitu plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) yang akan dicacah kecil-kecil dengan ukuran ± 1 cm, dan semua bahan yang dibutuhkan, lalu didatangkan ke Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung untuk dilakukan pengujian dan penelitian.

3.5.3 Pengujian Bahan

Material yang akan digunakan dalam penelitian ini harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik dan sifat material apakah memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan atau tidak.

1. Agregat kasar, Agregat halus, dan *filler*

Pengujian agregat diperlukan sebagai bahan pengisi pada campuran beraspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi terpakai yang memenuhi spesifikasi yang ada. Pada agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan. Standar pengujian agregat ini mengacu pada peraturan jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 seperti terdapat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3. 1. Standar Pemeriksaan Agregat

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Berat Jenis (Berat jenis bulk, Berat jenis SSD dan Berat jenis semu) dan Penyerapan agregat halus	SNI 03-1970-1990
2	Berat Jenis (Berat jenis bulk, Berat jenis SSD dan Berat jenis semu) dan Penyerapan agregat kasar	SNI 03-1969-1990
3	Los Angeles Test	SNI 03-2417-2008
4	Aggregate Impact Value Test (AIV)	BS 812: Part 3: 1975
5	Aggregate Crushing Value Test (AIV)	BS 812: Part 3: 1975

Sumber: Direktorat jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.

Hasil pengujian agregat yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2. Hasil Pemeriksaan Agregat

No	Jenis Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
A	Agregat Kasar (SNI 03-1969-1990)			
1	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cm	>2,5	2,6620
2	Berat jenis SSD		>2,5	2,6699
3	Berat jenis semu		>2,5	2,6831
4	Penyerapan	%	<3	0,2960
B	Agregat Halus (SNI 03-1969-1990)			
1	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cm	>2,5	2,6273
2	Berat jenis SSD		>2,5	2,6573
3	Berat jenis semu		>2,5	2,7084
4	Penyerapan	%	<3	1,1409
C	<i>Los Angeles Test</i> (SNI 03-2417:2008)	%	Maks 40	15,772
D	<i>Aggregate Impact Value</i> (BS 812:part 3 : 1975)	%	Maks 30	6,013
E	<i>Aggregate Crushing Value</i> (BS 812:part 3 : 1975)	%	Maks 30	0,91

2. Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian aspal dilakukan dengan melakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Standar pengujian aspal seperti terdapat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3. 3. Standar Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Penetrasi 25°C (mm)	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991
3	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991
5	Daktilitas pada 25° (cm)	SNI 06-2432-1991

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.

Hasil pengujian aspal yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung dapat dilihat pada tabel 3.4 di halaman selanjutnya.

Tabel 3. 4. Hasil Pengujian Aspal

Jenis Pengujian	Metode Uji	Syarat	Kadar ATK	Hasil
Berat Jenis (gr/cm ³)	SNI-06-2441-1991	≥1	0%	1,0148
			5%	1,0416
			7,5%	1,0514
			15%	1,0912
Penetrasi(mm)	SNI-06-2456-1991	60-70	0%	65
			5%	46
			7,5%	42
			15%	27
Daktilitas(cm)	SNI-06-2432-1991	≥100	0%	132
			5%	90
			7,5%	70
			15%	43
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48	0%	51,5
			5%	55,5
			7,5%	56,5
			15%	61,5

3.5.4 Perancangan Campuran Benda Uji

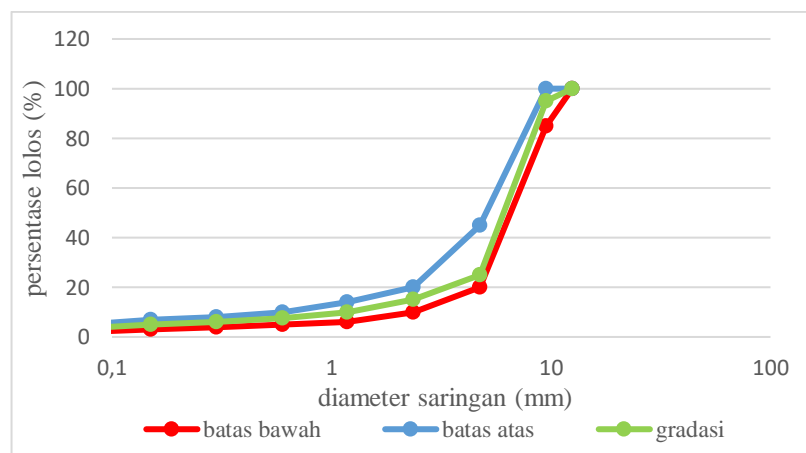
Sebelum pembuatan benda uji perlu ditentukan gradasi agregat yang akan direncanakan sesuai spesifikasi AAPA 2004.

3.5.4.1 Perancangan Gradasi Agregat

Rencana gradasi agregat campuran aspal porus menggunakan batas tengah sesuai dengan gradasi yang disyaratkan oleh AAPA 2004. Adapun rencana gradasi agregat campuran aspal porus dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.14 di halaman selanjutnya.

Tabel 3. 5. Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus

Ukuran Saringan (mm)	Agregat Maksimum 10 mm		
	Spesifikasi % Berat Lolos (AAPA, 2004)	% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
19,000	100	100	0
12,700	100	100	0
9,530	85 – 100	95	5
4,760	20 – 45	25	70
2,380	10 – 20	15	10
1,190	6 – 14	10	5
0,595	5 – 10	7,5	2,5
0,297	4 – 8	6	1,5
0,149	3 – 7	5	1
0,074	2 – 5	3,5	1,5
Pan			3,5



Gambar 3. 14. Rencana gradasi campuran aspal porus.

3.5.4.2 Perhitungan Komposisi Gradasi Campuran Aspal Porus

Berdasarkan AAPA (2004), kadar aspal untuk agregat ukuran maksimum 10 mm pada kisaran 5% - 6,5% terhadap berat total campuran. Maka pengujian KAO digunakan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% terhadap berat total campuran. Berikut tabel 3.6 sampai tabel 3.10 detail kebutuhan agregat di setiap kadar aspal.

Tabel 3. 6. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 4,5%

Ø Saringan (mm)	spesifikasi AAPA 2004		jumlah		jumlah tertahan sebelum di oven (gr)
	Batas Bawah	Batas Atas	lolos (%)	tertahan (%)	
19	100	100	100	0	0,00
12,5	100	100	100	0	0,00
9,5	85	100	95	5	50,14
4,75	20	45	25	70	701,93
2,36	10	20	15	10	100,28
1,18	6	14	10	5	50,14
0,6	5	10	7,5	2,5	25,07
0,3	4	8	6	1,5	15,04
0,15	3	7	5	1	10,03
0,075	2	5	3,5	1,5	15,04
Pan	-	-	-	3,5	35,10

Tabel 3. 7. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%

Ø Saringan (mm)	spesifikasi AAPA 2004		jumlah		jumlah tertahan sebelum di oven (gr)
	Batas Bawah	Batas Atas	lolos (%)	tertahan (%)	
19	100	100	100	0	0,00
12,5	100	100	100	0	0,00
9,5	85	100	95	5	49,88
4,75	20	45	25	70	698,25
2,36	10	20	15	10	99,75
1,18	6	14	10	5	49,88
0,6	5	10	7,5	2,5	24,94
0,3	4	8	6	1,5	14,96
0,15	3	7	5	1	9,98
0,075	2	5	3,5	1,5	14,96
Pan	-	-	-	3,5	34,91

Tabel 3. 8. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%

Ø Saringan (mm)	spesifikasi AAPA 2004		jumlah		jumlah tertahan sebelum di oven (gr)
	Batas Bawah	Batas Atas	lolos (%)	tertahan (%)	
19	100	100	100	0	0,00
12,5	100	100	100	0	0,00
9,5	85	100	95	5	49,61
4,75	20	45	25	70	694,58
2,36	10	20	15	10	99,23
1,18	6	14	10	5	49,61
0,6	5	10	7,5	2,5	24,81
0,3	4	8	6	1,5	14,88
0,15	3	7	5	1	9,92
0,075	2	5	3,5	1,5	14,88
Pan	-	-	-	3,5	34,73

Tabel 3. 9. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%

Ø Saringan (mm)	spesifikasi AAPA 2004		jumlah		jumlah tertahan sebelum di oven (gr)
	Batas Bawah	Batas Atas	lolos (%)	tertahan (%)	
19	100	100	100	0	0,00
12,5	100	100	100	0	0,00
9,5	85	100	95	5	49,35
4,75	20	45	25	70	690,90
2,36	10	20	15	10	98,70
1,18	6	14	10	5	49,35
0,6	5	10	7,5	2,5	24,68
0,3	4	8	6	1,5	14,81
0,15	3	7	5	1	9,87
0,075	2	5	3,5	1,5	14,81
Pan	-	-	-	3,5	34,55

Tabel 3. 10. Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%

Ø Saringan (mm)	spesifikasi AAPA 2004		jumlah		jumlah tertahan sebelum di oven (gr)
	Batas Bawah	Batas Atas	lolos (%)	tertahan (%)	
19	100	100	100	0	0,00
12,5	100	100	100	0	0,00
9,5	85	100	95	5	49,09
4,75	20	45	25	70	687,23
2,36	10	20	15	10	98,18
1,18	6	14	10	5	49,09
0,6	5	10	7,5	2,5	24,54
0,3	4	8	6	1,5	14,73
0,15	3	7	5	1	9,82
0,075	2	5	3,5	1,5	14,73
Pan	-	-	-	3,5	34,36

3.5.4.3 Perancangan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO campuran aspal porus dalam penelitian ini menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association*, 2004 dengan cara menuangkan hasil dari pengujian kedalam grafik garis berupa hubungan antara variasi kadar aspal dengan metode pengujian. Penentuan KAO dengan metode ini mensyaratkan tiga parameter yaitu VIM, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down* yang terdapat pada tabel 3.11 di bawah ini.

Tabel 3. 11. Parameter Perencanaan KAO Campuran Aspal Porus

No	Spesifikasi	Syarat
1	Kadar Rongga Udara (VIM %)	18 - 25
2	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	≤ 35
3	Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	≤ 0,3

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004*

Nilai KAO ditentukan dengan tahapan–tahapan sebagai berikut:

1. Hasil dari pengujian VIM dan *Cantabro Loss* dicatat dan dituangkan kedalam grafik garis. Pada grafik ke-1 menunjukkan hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai VIM dan grafik ke-2 menunjukkan hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *Cantabro Loss*.
2. Pada grafik ke-1 kadar rongga minimum (VIM) dalam campuran adalah 18% digunakan sebagai batas atas untuk mendapatkan kadar aspal maksimum (OAC Maksimum). OAC Maks. dibuat berupa garis vertikal yang memotong garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai VIM. Pada titik perpotongan ini kemudian dibuat garis tegak lurus yang menunjukkan nilai kadar aspal maksimum.
3. Pada grafik ke-2 nilai *cantabro loss* maksimum 35% digunakan sebagai batas bawah untuk mendapatkan kadar aspal minimum (OAC minimum) dibuat berupa garis vertikal yang memotong garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *cantabro loss*. Pada titik perpotongan ini kemudian dibuat garis tegak lurus yang menunjukkan nilai kadar aspal minimum.
4. Dari hasil pada grafik ke-1 dan grafik ke-2 diperoleh nilai OAC maksimum dan OAC minimum yang kemudian digunakan untuk menentukan kadar aspal sementara.
5. Nilai kadar aspal sementara diperoleh dari nilai rata-rata OAC maksimum dan OAC minimum.
6. Hasil dari pengujian *Asphalt Flow Down* dicatat dan dituangkan kedalam grafik garis. Grafik ke-3 ini menunjukkan hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *Asphalt Flow Down*.
7. Nilai kadar aspal sementara kemudian di plotting pada grafik ke-3 dengan cara membuat garis tegak lurus sampai mempertemukan garis hubungan antara variasi kadar aspal

dengan nilai *Asphalt Flow Down*. Pada titik pertemuan ini kemudian dibuat garis horizontal ke kiri yang menunjukkan nilai hasil plotting *Asphalt Flow Down*.

8. Apabila nilai hasil plotting melebihi nilai standar *Asphalt Flow Down* spesifikasi AAPA 2004 yaitu 0,3%, maka perencanaan OAC maksimum dan OAC minimum harus diulang. Sebaliknya jika nilai *Asphalt Flow Down* hasil plotting dibawah 0,3% maka dapat ditentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).
9. Nilai Kadar Aspal Optimum diperoleh dengan cara menjumlahkan nilai kadar aspal sementara dengan nilai *Asphalt Flow Down* hasil plotting.
10. Langkah-langkah diatas dilakukan sebanyak 4 (empat) kali untuk mendapatkan nilai KAO dengan variasi PET 0%, 5%, 7,5%, dan 15%.

3.5.4.4 Variasi Pencampuran Aspal dengan PET

Penelitian ini dilakukan dengan 3 (tiga) variasi campuran menggunakan aspal pen 60/70 dengan tambahan PET. Variasi campuran ditunjukkan pada Tabel 3.12 di bawah ini :

Tabel 3. 12. Variasi Campuran Aspal Porus dengan PET

No	Variasi Campuran	Komposisi Campuran
1	Aspal Porus – 1	Campuran aspal porus dengan penambahan PET 0%
2	Aspal Porus – 2	Campuran aspal porus dengan penambahan PET 5%
3	Aspal Porus – 3	Campuran aspal porus dengan penambahan PET 7,5%
4	Aspal Porus – 4	Campuran aspal porus dengan penambahan PET 15%

3.5.4.5 Jumlah Benda Uji Untuk Mencari KAO

Pada penelitian ini dibutuhkan 4 nilai KAO berdasarkan masing-masing kadar plastik 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 15%. benda uji yang dibutuhkan untuk memperoleh 1 nilai KAO sebanyak 45 benda uji berdasarkan 3 pengujian yaitu *marshall*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down*. Maka total benda uji yang harus dibuat untuk mendapatkan 4 nilai KAO sebanyak 180 benda uji.

Tabel 3. 13. Jumlah Benda Uji Untuk Mencari KAO

Variasi Kadar Aspal (%)	Metode Pengujian	Jumlah Benda Uji			
		PET 0%	PET 5%	PET 7,5%	PET 15%
4,5	<i>Marshall</i>	3	3	3	3
	<i>Asphalt Flow Down</i>	3	3	3	3
	<i>Cantabro Loss</i>	3	3	3	3
5	<i>Marshall</i>	3	3	3	3
	<i>Asphalt Flow Down</i>	3	3	3	3
	<i>Cantabro Loss</i>	3	3	3	3
5,5	<i>Marshall</i>	3	3	3	3
	<i>Asphalt Flow Down</i>	3	3	3	3
	<i>Cantabro Loss</i>	3	3	3	3
6	<i>Marshall</i>	3	3	3	3
	<i>Asphalt Flow Down</i>	3	3	3	3
	<i>Cantabro Loss</i>	3	3	3	3
6,5	<i>Marshall</i>	3	3	3	3
	<i>Asphalt Flow Down</i>	3	3	3	3
	<i>Cantabro Loss</i>	3	3	3	3
Jumlah		45	45	45	45
Total		180 Buah			

3.5.5. Pembuatan Benda Uji Untuk Mencari KAO

1. Benda Uji *Marshall* dan *Cantabro*

Tahap-tahap dari pembuatan benda uji untuk uji *Marshall* dan *Cantabro Loss* yaitu sebagai berikut:

- a. Menimbang agregat sesuai dengan persentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak tiga buah pada masing-masing variasi Kadar Aspal dan PET.

- b. Lalu masukan bahan agregat kedalam oven selama ± 4 jam sehingga didapatkan berat kering dan menghitung kembali kadar aspal berdasarkan berat agregat setelah dioven.
- c. Mencampurkan agregat sesuai perencanaan dengan berat total agregat masing-masing benda uji sebesar 1000 gram.
- d. Sebelum dilakukan pemadatan, terlebih dahulu memanaskan cetakan yang akan digunakan dengan tujuan agar tidak terjadi penurunan suhu yang terlalu signifikan pada sampel. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder dengan tinggi standar 6,35 cm dan diameter 10,16 cm.
- e. Memasukkan campuran dalam cetakan kemudian memadatkannya menggunakan pemadat pipih dan melakukan pemadatan dengan alat *compactor* terhadap sampel sebanyak 2 x 50 tumbukan dengan suhu 150°C.
- f. Setelah itu benda uji didiamkan selama kurang lebih 24 jam agar suhu pada benda uji menurun, kemudian benda uji dikeluarkan menggunakan *ejector* dan diberi kode sampel sesuai dengan jenis sampel, hal tersebut untuk memudahkan pada saat pengujian.

2. Benda Uji *Asphalt Flow Down*

Tahap-tahap dari pembuatan benda uji untuk uji *Asphalt Flow Down* yaitu sebagai berikut:

- a. Menimbang agregat sesuai dengan persentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak tiga buah pada masing-masing variasi Kadar Aspal dan PET (*Polyethylene Terephthalate*).
- b. Lalu masukan bahan agregat kedalam oven selama ± 4 jam sehingga didapatkan berat kering dan menghitung kembali kadar aspal berdasarkan berat agregat setelah dioven.
- c. Mencampurkan agregat sesuai perencanaan dengan berat total agregat masing-masing benda uji sebesar 1000 gram.

- d. Campuran aspal dituangkan di atas cetakan berupa nampan dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm dilapisi dengan kertas *aluminium foil*.
- e. Campuran aspal tersebut dimasukkan ke oven dengan suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$ selama ± 60 menit.
- f. Berat cetakan, berat cetakan beserta campuran beraspal sebelum dioven, dan berat cetakan beserta campuran beraspal sesudah dioven dicatat kemudian dihitung menggunakan rumus *Asphalt Flow Down*.

3.5.6 Pengujian Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan 3 (tiga) jenis pengujian untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu pengujian *marshall*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down*.

3.5.6.1 Pengujian menggunakan alat *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) pada campuran beraspal yang mengacu pada SNI 06-2489-1991 dan akan dilakukan pengujian sesuai dengan kondisi cuaca di Indonesia yang mempunyai dua musim yaitu musim panas dan musim penghujan, pengujian akan disimulasikan dengan suhu perendaman 60°C . Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat *Marshall*:

1. Benda uji setelah diketahui berat dan tinggi pada masing-masing sampel, lalu direndam dalam bak perendaman (*water bath*) pada suhu 60°C selama 30 menit.
2. Membersihkan bagian dalam kepala penekan alat uji *Marshall* dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.

3. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam, meletakkan benda uji dalam cincin dan memasang *flow* meter, selanjutnya letakkan kembali pada mesin penekan *Marshall*. Kemudian penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, dan mengatur jarum arloji *flow* meter pada angka nol.
4. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 2 inch (51 mm) per menit, dibaca pada saat nilai stabilitas berhenti dan jarum mulai kembali berputar menurun, itu merupakan nilai stabilitas *Marshall*. pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan dibaca.
5. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan.
6. Melakukan pengujian berat jenis maksimum (Gmm) pada setiap sampel, sesuai dengan SNI 03-6893-2002.

3.5.6.2 Pengujian Cantabro Loss

Pengujian ini berdasarkan ASTM C-131, Adapun pengujian Cantabro Loss dilakukan sebagai berikut:

1. Benda uji didiamkan pada suhu ruang selama minimal 6 jam.
2. Benda uji ditimbang untuk mendapatkan nilai berat sebelum diabrasi (Mo).
3. Benda uji dimasukkan ke dalam alat pengujian abrasi *Loss Angles*.
4. Diberikan putaran sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola besi dengan kecepatan 30- 33 rpm.
5. Benda uji ditimbang kembali untuk mendapatkan nilai berat setelah diabrasi (Mi).
6. Berat sebelum dan sesudah pengujian dicatat dan dihitung menggunakan rumus *Cantabro Loss*.

3.5.6.3 Pengujian Asphalt Flow Down

Pengujian ini berdasarkan AASHTO T 305, adapun pengujian Asphalt Flow Down dilakukan dengan cara sebagai berikut:

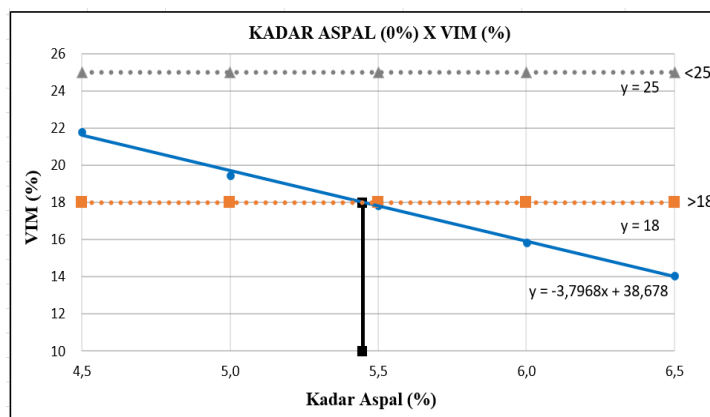
1. Cetakan berupa nampan dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm dilapisi dengan kertas *aluminium foil*, ditimbang dan dicatat berat cetakan tersebut (m1).
2. Selanjutnya campuran aspal dibuat, setelah tercampur merata campuran aspal dituangkan di atas cetakan yang telah dilapisi *aluminium foil* sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya (m2).
3. Cetakan yang berisi campuran aspal tersebut dimasukkan ke oven dengan suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$ selama ± 60 menit.
4. Cetakan dikeluarkan dari oven dan campuran aspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran aspal yang melekat pada aluminium foil ditimbang dan dicatat (m3).
5. Berat cetakan (m1), berat cetakan beserta campuran beraspal sebelum dioven (m2), dan berat cetakan beserta campuran beraspal sesudah dioven (m3) dicatat kemudian dihitung menggunakan rumus *Asphalt Flow Down*.

3.5.7 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

Hasil dari pengujian *marshall*, *cantabro loss*, dan *asphalt flow down* yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung untuk penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel, Kurva dan Gambar dibawah ini.

Tabel 3. 14. Tabel Nilai Parameter VIM, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk Kadar Plastik 0%

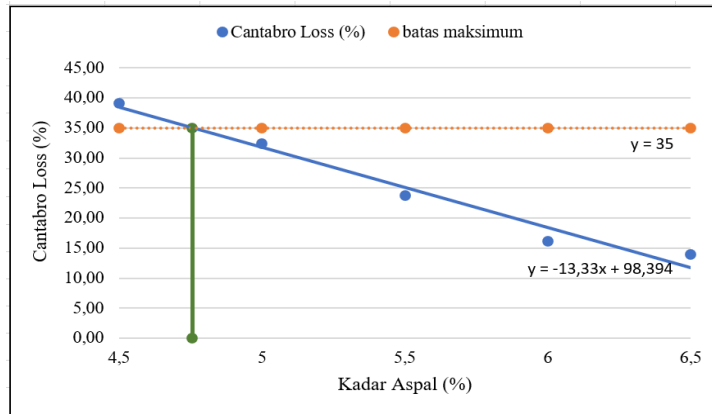
Kadar Aspal (%)	Benda Uji	VIM (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)	AFD (%)
Spesifikasi		18-25	<35	<0,3
4,5	1	21,69	39,37	0,14
	2	21,62	38,82	0,18
	3	21,99	39,15	0,15
Rata-rata		21,77	39,11	0,16
5	1	19,46	31,53	0,20
	2	19,45	33,23	0,20
	3	19,43	32,52	0,22
Rata-rata		19,45	32,42	0,21
5,5	1	17,76	23,90	0,30
	2	18,01	24,03	0,28
	3	17,73	23,40	0,29
Rata-rata		17,83	23,78	0,29
6	1	16,23	16,16	0,69
	2	15,61	15,93	0,69
	3	15,73	16,46	0,72
Rata-rata		15,86	16,18	0,70
6,5	1	14,20	14,71	1,26
	2	13,93	13,28	1,34
	3	14,08	13,73	1,29
Rata-rata		14,07	13,91	1,30



Gambar 3. 15. Hubungan kadar aspal PET 0% dengan nilai VIM

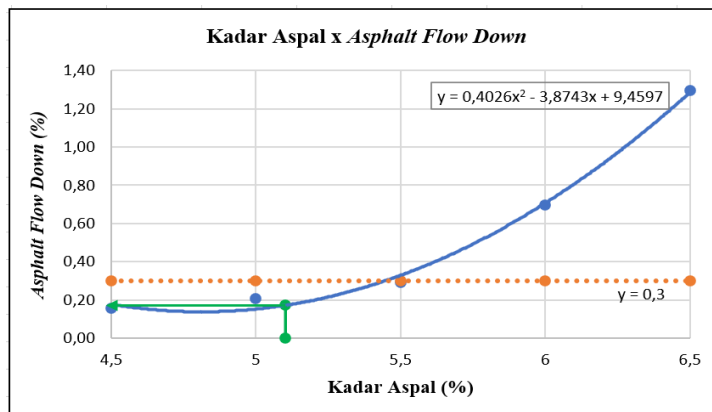
Pada grafik diatas nilai VIM minimum dalam campuran adalah 18% digunakan sebagai batas atas untuk mendapatkan kadar aspal maksimum (OAC Maks). Nilai OAC maks dibuat berupa garis vertikal yang memotong garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai VIM. Dari grafik didapatkan persamaan $y = -3,7968x + 38,678$ dimana

$y = 18\%$, maka x yang menunjukkan nilai OAC maksimum diperoleh sebesar $5,45\%$.



Gambar 3. 16. Hubungan kadar aspal PET 0% dengan nilai *cantabro loss*

Pada grafik diatas nilai *cantabro loss* maksimum 35% digunakan sebagai batas bawah untuk mendapatkan kadar aspal minimum (OAC min) dibuat berupa garis vertikal yang memotong garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *cantabro loss*. Dari grafik didapatkan persamaan $y = -13,33x + 98,394$ dimana $y = 35\%$, maka x yang menunjukkan nilai OAC minimum diperoleh sebesar $4,76\%$. Kemudian dapat ditentukan nilai kadar aspal sementara yang diperoleh dari nilai rata-rata OAC maksimum dan OAC minimum yaitu sebesar $5,1\%$. kadar aspal sementara kemudian di plotting pada grafik AFD.



Gambar 3. 17. Hubungan kadar aspal PET 0% dengan nilai AFD

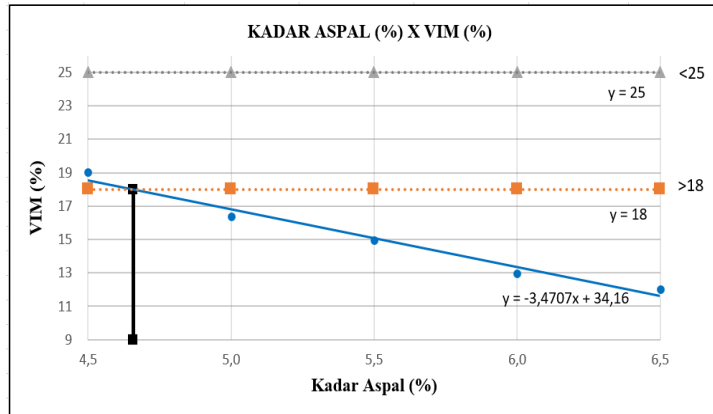
Nilai kadar aspal sementara di plotting pada grafik AFD dengan cara membuat garis tegak lurus sampai mempertemukan garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai AFD. Pada titik pertemuan ini kemudian dibuat garis horizontal ke kiri yang menunjukkan nilai hasil plotting AFD. Setelah didapatkan nilai AFD hasil plotting dapat diketahui nilai kadar aspal optimum menggunakan rumus dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar Aspal Optimum} &= \frac{\text{O A M a k s O A M i n}}{2} + \text{Nilai AFD} \% \\ &= \frac{5,45 + 4,76}{2} + 0,17 \% \\ &= 5,27\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh kadar aspal optimum yaitu 5,27% dari berat total campuran.

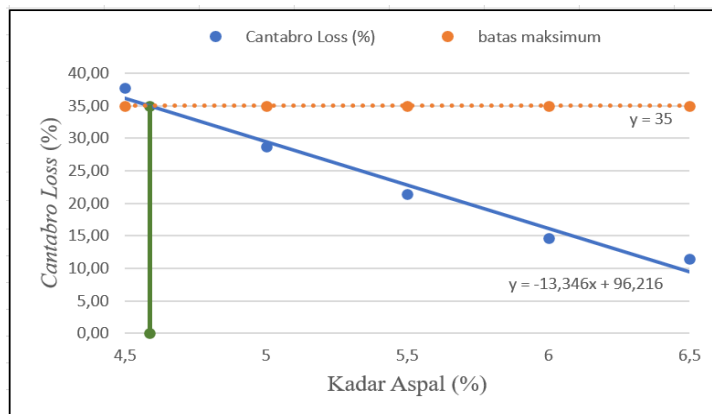
Tabel 3. 15. Tabel Nilai Parameter VIM, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk Kadar Plastik 5%

Kadar Aspal (%)	Benda Uji	VIM (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)	AFD (%)
Spesifikasi		18-25	<35	<0,3
4,5	1	19,10	37,79	0,14
	2	19,03	37,22	0,11
	3	18,90	38,36	0,12
Rata-rata		19,01	37,79	0,12
5	1	16,58	29,40	0,21
	2	16,08	28,88	0,17
	3	16,50	27,78	0,19
Rata-rata		16,39	28,69	0,19
5,5	1	14,96	21,33	0,25
	2	14,58	20,79	0,31
	3	15,30	22,27	0,29
Rata-rata		14,95	21,46	0,28
6	1	13,66	15,25	0,61
	2	11,90	14,31	0,64
	3	13,33	14,55	0,59
Rata-rata		12,96	14,70	0,61
6,5	1	12,56	11,49	1,06
	2	11,59	10,77	1,10
	3	11,99	11,98	1,15
Rata-rata		12,05	11,41	1,10



Gambar 3. 18. Hubungan kadar aspal PET 5% dengan nilai VIM

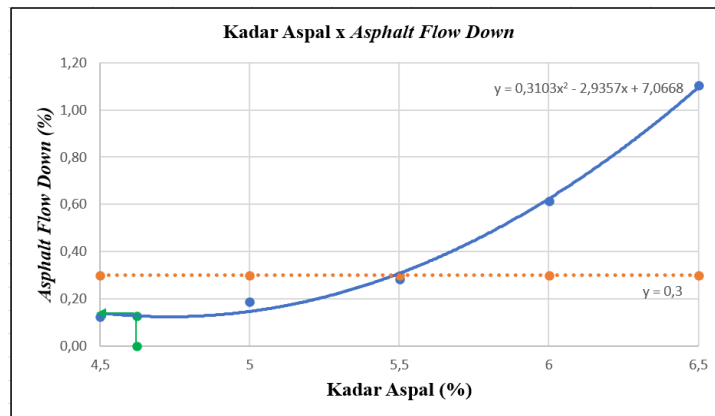
Pada grafik diatas nilai VIM minimum dalam campuran adalah 18% digunakan sebagai batas atas untuk mendapatkan kadar aspal maksimum (OAC Maks). Nilai OAC maks dibuat berupa garis vertikal yang memotong garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai VIM. Dari grafik didapatkan persamaan $y = -3,4707x + 34,16$ dimana $y = 18\%$, maka x yang menunjukkan nilai OAC maksimum diperoleh sebesar 4,66%.



Gambar 3. 19. Hubungan kadar aspal PET 5% dengan nilai *cantabro loss*

Pada grafik diatas nilai *cantabro loss* maksimum 35% digunakan sebagai batas bawah untuk mendapatkan kadar aspal minimum (OAC min) dibuat berupa garis vertikal yang memotong garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *cantabro loss*. Dari grafik didapatkan

persamaan $y = -13,346x + 96,216$ dimana $y = 35\%$, maka x yang menunjukkan nilai OAC minimum diperoleh sebesar 4,59%. Kemudian dapat ditentukan nilai kadar aspal sementara yang diperoleh dari nilai rata-rata OAC maksimum dan OAC minimum yaitu sebesar 4,62%. kadar aspal sementara kemudian di plotting pada grafik AFD.



Gambar 3. 20. Hubungan kadar aspal PET 5% dengan nilai AFD

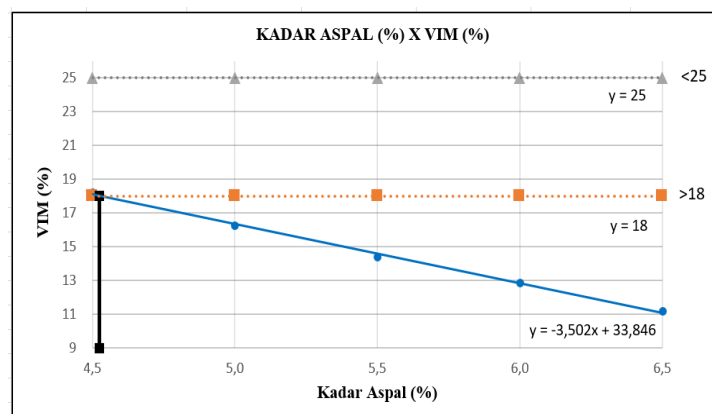
Nilai kadar aspal sementara di plotting pada grafik AFD dengan cara membuat garis tegak lurus sampai mempertemukan garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai AFD. Pada titik pertemuan ini kemudian dibuat garis horizontal ke kiri yang menunjukkan nilai hasil plotting AFD. Setelah didapatkan nilai AFD hasil plotting dapat diketahui nilai kadar aspal optimum menggunakan rumus dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar Aspal Optimum} &= \frac{\text{O A M a k s O A M i n}}{2} + \text{Nilai AFD \%} \\ &= \frac{4,66 + 4,59}{2} + 0,13 \% \\ &= 4,75\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran PET 5% yaitu 4,75% dari berat total campuran.

Tabel 3. 16. Tabel Nilai Parameter VIM, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk Kadar Plastik 7,5%

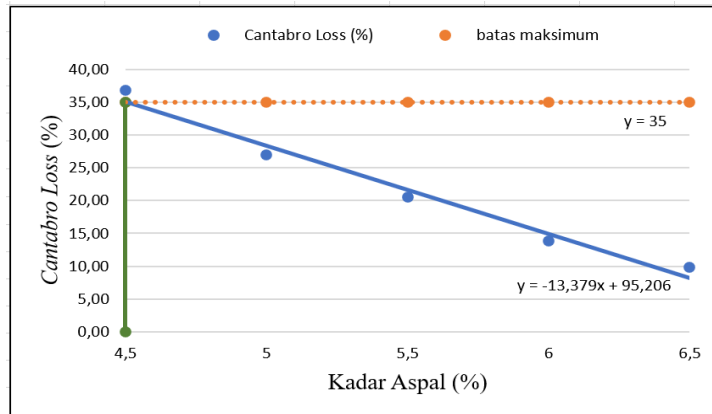
Kadar Aspal (%)	Benda Uji	VIM (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)	AFD (%)
Spesifikasi		18-25	<35	<0,3
4,5	1	18,25	37,12	0,11
	2	18,23	36,38	0,11
	3	18,21	36,96	0,10
Rata-rata		18,23	36,82	0,10
5	1	15,42	26,67	0,19
	2	15,10	27,44	0,18
	3	15,29	26,66	0,17
Rata-rata		15,27	26,93	0,18
5,5	1	12,70	19,23	0,29
	2	12,85	20,56	0,26
	3	12,89	21,97	0,25
Rata-rata		12,81	20,59	0,27
6	1	11,25	14,19	0,58
	2	10,86	13,98	0,62
	3	11,42	13,54	0,57
Rata-rata		11,18	13,90	0,59
6,5	1	10,28	9,81	1,07
	2	10,01	9,69	1,14
	3	9,91	10,15	1,10
Rata-rata		10,06	9,88	1,10



Gambar 3. 21. Hubungan kadar aspal PET 7,5% dengan nilai VIM

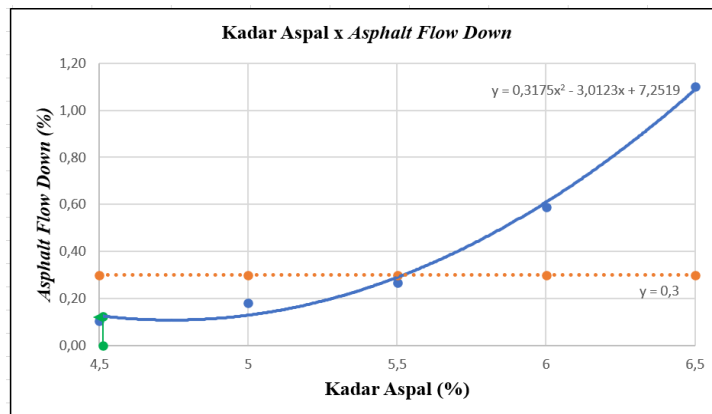
Pada grafik diatas nilai VIM minimum dalam campuran adalah 18% digunakan sebagai batas atas untuk mendapatkan kadar aspal maksimum (OAC Maks). Nilai OAC maks dibuat berupa garis vertikal yang memotong garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai VIM. Dari grafik didapatkan persamaan $y = -3,502x + 33,846$ dimana

$y = 18\%$, maka x yang menunjukkan nilai OAC maksimum diperoleh sebesar 4,52%.



Gambar 3. 22. Hubungan kadar aspal PET 7,5% dengan nilai *cantabro loss*

Pada grafik diatas nilai *cantabro loss* maksimum 35% digunakan sebagai batas bawah untuk mendapatkan kadar aspal minimum (OAC min) dibuat berupa garis vertikal yang memotong garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai *cantabro loss*. Dari grafik didapatkan persamaan $y = -13,379x + 95,206$ dimana $y = 35\%$, maka x yang menunjukkan nilai OAC minimum diperoleh sebesar 4,50%. Kemudian dapat ditentukan nilai kadar aspal sementara yang diperoleh dari nilai rata-rata OAC maksimum dan OAC minimum yaitu sebesar 4,51%. kadar aspal sementara kemudian di plotting pada grafik AFD.



Gambar 3. 23. Hubungan kadar aspal PET 7,5% dengan nilai AFD

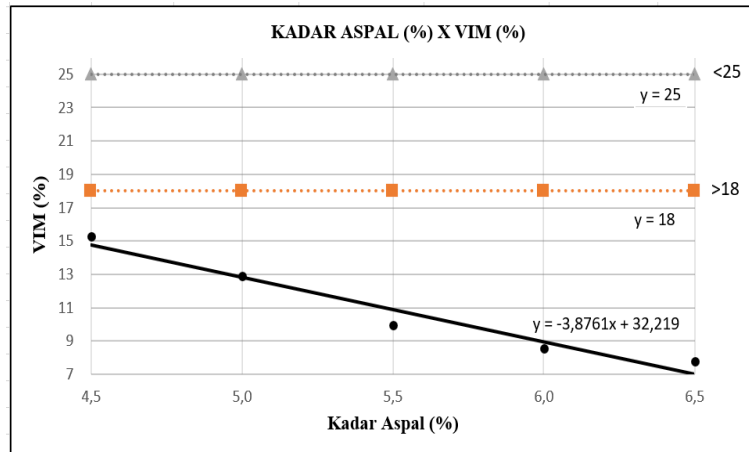
Nilai kadar aspal sementara di plotting pada grafik AFD dengan cara membuat garis tegak lurus sampai mempertemukan garis hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai AFD. Pada titik pertemuan ini kemudian dibuat garis horizontal ke kiri yang menunjukkan nilai hasil plotting AFD. Setelah didapatkan nilai AFD hasil plotting dapat diketahui nilai kadar aspal optimum menggunakan rumus dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Kadar Aspal Optimum} &= \frac{\text{O A M a k s O A M i n}}{2} + \text{Nilai AFD \%} \\ &= \frac{4,5 + 4,5}{2} + 0,12 \% \\ &= 4,64\% \end{aligned}$$

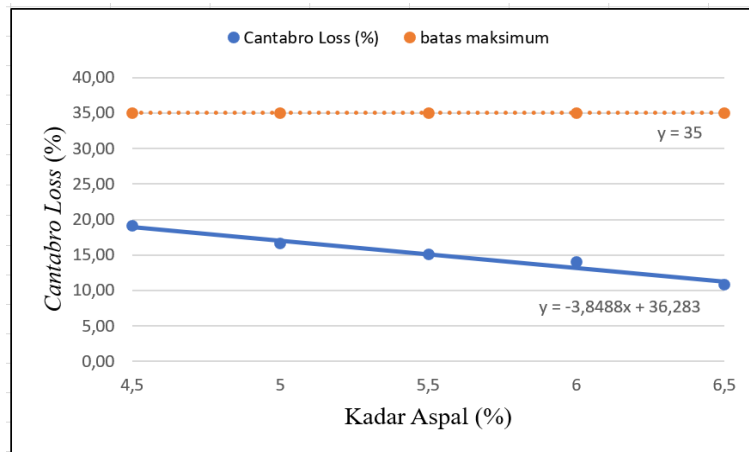
Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran PET 7,5% yaitu 4,64% dari berat total campuran.

Tabel 3. 17. Tabel Nilai Parameter VIM, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk Kadar Plastik 15%

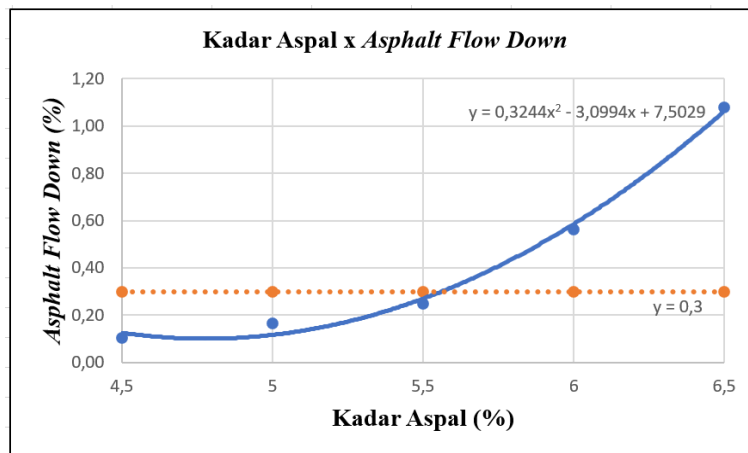
Kadar Aspal (%)	Benda Uji	VIM (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)	AFD (%)
Spesifikasi		18-25	<35	<0,3
4,5	1	15,21	18,96	0,09
	2	14,87	19,26	0,10
	3	15,82	19,12	0,12
Rata-rata		15,30	19,12	0,10
5	1	12,64	16,71	0,15
	2	13,17	16,39	0,19
	3	12,88	16,74	0,17
Rata-rata		12,90	16,61	0,17
5,5	1	9,98	14,90	0,27
	2	10,14	15,13	0,25
	3	9,81	15,08	0,23
Rata-rata		9,98	15,04	0,25
6	1	8,17	13,75	0,50
	2	8,74	14,19	0,60
	3	8,69	14,13	0,58
Rata-rata		8,53	14,02	0,56
6,5	1	8,39	10,62	1,04
	2	7,63	10,71	0,97
	3	7,37	11,03	1,22
Rata-rata		7,79	10,79	1,08



Gambar 3. 24. Hubungan kadar aspal PET 15% dengan nilai VIM



Gambar 3. 25. Hubungan kadar aspal PET 15% dengan nilai *cantabro loss*



Gambar 3. 26. Hubungan kadar aspal PET 15% dengan nilai AFD

Dikarenakan pada kadar plastik 15% nilai VIM, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* tidak memenuhi syarat AAPA 2004 maka tidak dapat ditentukan Kadar Aspal Optimum (KAO).

3.5.8 Pembuatan Benda Uji *Marshall* Rendaman

Setelah didapatkan kadar aspal optimum (KAO) pada setiap penambahan kadar plastik maka dapat dilanjutkan pembuatan benda uji untuk *marshall* rendaman. Tahap-tahap pembuatan benda uji *marshall* rendaman sebagai berikut:

- a. Setelah melakukan perhitungan komposisi gradasi aspal porus dan mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO), dilakukan pembuatan benda uji dengan cara menimbang agregat sesuai dengan perhitungan komposisi gradasi aspal porus, lalu dicampurkan dengan aspal modifikasi diatas penggorengan, dan setelah itu dilakukan pemadatan sebanyak 50 kali tumbukan untuk masing-masing sisi, lalu melakukan perendaman menerus pada suhu 60°C dengan variasi lama perendaman yang dapat dilihat pada Tabel 3.18.

Tabel 3. 18. Jumlah Benda Uji *Marshall* Rendaman berdasarkan KAO

Lama Perendaman	Kadar Aspal Optimum			Jumlah Benda Uji
	PET 0%	PET 5%	PET 7,5%	
Tanpa Rendaman	3 buah	3 buah	3 buah	9
30 Menit	3 buah	3 buah	3 buah	9
Total				18

Dikarenakan untuk kadar plastik 15% tidak didapatkan KAO maka benda uji *marshall* rendaman tidak dilanjutkan sehingga berdasarkan tabel jumlah benda uji untuk *marshall* rendaman yaitu 18 buah.

- b. Memeriksa tinggi benda uji, berat kering, berat benda uji dalam air dan berat pada kondisi kering permukaan jenuh.

3.5.9 Pengujian *Marshall* Rendaman

Pengujian *marshall* rendaman bertujuan untuk membandingkan nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, MQ, dan kepadatan dengan 2 (dua) perlakuan yaitu tanpa rendaman dan dengan rendaman setelah benda uji dibuat.

1. Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode Marshall, meliputi:
 - a. Alat tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur flow meter.
 - b. Cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
 - c. Bak perendam (*waterbath*) yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
 - d. Alat-alat penunjang yang meliputi ember untuk merendam benda uji, dan jangka sorong.
2. Prosedur Pengujian *Marshall*
 - a. Pemeriksaan tinggi benda uji, berat kering, berat benda uji dalam air dan berat pada kondisi kering permukaan jenuh.
 - b. Uji *Mashall* Rendaman

Tahap-tahap uji *mashall* rendaman adalah sebagai berikut:

 - Melakukan perendaman benda uji pada bak perendam sesuai dengan variasi lama perendaman.
 - Melakukan pengujian *Marshall*, sesuai dengan SNI 06-2489-1991.
 - Melakukan pengujian berat jenis maksimum (Gmm) pada setiap variasi lama perendaman, sesuai dengan SNI 03-6893-2002.

3.6 Pengolahan dan Pembahasan Hasil

Berdasarkan data yang telah didapatkan pada saat penelitian di Laboratorium, akan dilakukan analisa pengolahan serta perhitungan karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* campuran aspal porus dengan penambahan bahan limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*). Analisa pada penelitian ini menggunakan parameter nilai VIM, VMA, VFA, stabilitas, kelelahan (*flow*), MQ, kepadatan, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* standar *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) 2004. Dari nilai-nilai tersebut akan memperlihatkan seberapa besar pengaruh variasi penambahan limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) terhadap campuran aspal porus. Sehingga akan mendapatkan hasil kesimpulan dan saran.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, dapat disimpulkan bahwa:

1. Campuran aspal porus memiliki rongga yang besar, maka dibutuhkan kualitas campuran yang baik untuk mencegah patah akibat pengaruh beban lalu lintas. Dalam hal ini penambahan PET pada campuran aspal porus dapat meningkatkan kualitas campuran menjadi lebih baik yang ditunjukkan dengan nilai stabilitas yang semakin meningkat.
2. Penambahan PET dapat menghemat biaya pembuatan lapis perkerasan karena aspal yang dibutuhkan semakin sedikit yang ditunjukkan dengan nilai KAO yang semakin menurun.
3. Penambahan PET pada penelitian ini juga dapat meningkatkan titik lembek dan menurunkan nilai *asphalt flow down* yang membuat campuran aspal semakin tahan terhadap peningkatan suhu. Penambahan PET membuat ketahanan campuran aspal terhadap disintegrasi menjadi semakin baik yang ditandai dengan nilai *cantabro loss* juga semakin menurun. Namun rongga udara menjadi lebih rapat sehingga fungsi campuran untuk mengalirkan air menjadi kurang maksimal yang ditandai dengan nilai VIM yang semakin menurun.
4. Nilai VIM yang menurun membuat kualitas drainase semakin kurang baik dalam mengalirkan air. Karena waktu terendamnya permukaan perkerasan di jalan raya tidak hanya terbatas 30 menit untuk kondisi drainase yang

kurang baik, tetapi bisa lebih dari satu hari. Maka dapat diasumsikan nilai *flow* semakin meningkat pada saat tergenang air di jalan raya. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengakibatkan lapisan perkerasan mudah mengalami penggemukan (*bleeding*). Dalam penelitian ini didapatkan hasil penambahan kadar PET sampai dengan 7,5% dapat menurunkan nilai *flow* sehingga campuran memiliki kelenturan yang optimal dan kemampuan untuk mengikuti deformasi vertikal menjadi lebih baik.

5. Kadar PET yang disarankan sebagai bahan tambah pada aspal sebaiknya dibawah 5% karena pada penelitian ini nilai penetrasi dan daktilitas tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui kinerja dari aspal keras (*performance grade*). Dimana dalam SNI 8426:2017 tentang spesifikasi aspal keras setara kelas kinerja menyatakan kekakuan aspal yang semakin besar mampu menahan deformasi. Dalam hal ini PET yang memiliki sifat kekakuan dapat ditambahkan ke dalam campuran sehingga campuran aspal tersebut menjadi lebih kaku.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Campuran PET yang dapat ditambahkan ke dalam aspal sebaiknya dibawah 5% karena nilai daktilitas yang tidak memenuhi spesifikasi bina marga 2018 dan berakibat pada campuran aspal yang mudah retak.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut pada aspal yang dimodifikasi dengan penambahan PET untuk mengetahui kinerja aspal tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan (*performance grade*) berdasarkan SNI 8426:2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jumaili, M.A.H. 2016. *Laboratory Evaluation of Modified Porous Asphalt Mixtures*. *Applied Research Journal Vol. 2*: 104-117.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. 2015. *Standard Specification For Performance Graded Asphalt Binder*.
- Anonim, 2004. *Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*. Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, Jakarta. 221 hlm.
- Asrar, Y. D. (2007). *Karakteristik Aspal Dengan Bahan Tambah Plastik Dan Kinerjanya Dalam Campuran HRA*. (Tesis). Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Australian Asphalt Pavement Association. 2004. *National Asphalt Specification*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. SNI 8426:2017 “*Spesifikasi Aspal Setara Kelas Kinerja*”. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Cetin, A. 2013. *Effects of Crumb Rubber Size and Concentration on Performance of Porous Asphalt Mixtures*.
<https://www.hindawi.com/journals/ijps/2013/789612/>. diakses pada tanggal 22 Mei 2022 pukul 19.45.
- Diana, I. W. (2004). *Studi rongga menerus dan kinerja permeabilitas perkerasan aspal porus lapis ganda*. *Jurnal Transportasi* 4: 85-98.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. 2018. *Spesifikasi Umum Edisi 2018*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.
- Djumari & Sarwono, D., 2009. *Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal dengan Metode Penempatan Kering*. *Media Teknik Sipil* 9: 9-15.
- DS, Izzanur Rusyda., Rahardjo, B., & Pranoto, P. (2018). *Kajian Eksperimental Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Plastik HDPE (High Density Poly Ethylene)*. *Jurnal Bangunan* 23: 19-28

- Nashir T, M. 2013. *Studi Eksperimental Campuran Aspal Berpori menggunakan Aspal Polimer Modifikasi (Polymer Modified Binder) dengan Stabilisasi Serat Polypropylene*.
<https://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/11617/11529/t111.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. diakses pada 22 mei 2022 pukul 21.00.
- Nasution, M. F. N. (2017). *Pengaruh Penambahan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC- WC Di Laboratorium*. (Tugas Akhir). Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Pemerintah Indonesia, 2022. *Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Perubahan Kedua atas Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan*. Lembaran RI Tahun 2022, No. 12. Sekretariat Negara. Jakarta
- Prawiro, B. 2014. *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus dengan Tambahan Gilsonite*.
<http://repository.ub.ac.id/id/eprint/143037/>. diakses 22 Mei 2022 pukul 20.15.
- Read, J., Whiteoak, D., & Hunter, N.R. 2003. *The Shell Bitumen Handbook Fifth Edition*. Thomas Telford, London. 460 halaman.
- Saleh, S. M., Anggraini, R., & Aquina, H. 2014. *Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70*. *Jurnal Teknik Sipil ITB* 21: 241-250.
- S.E., Zoorob, & Suparma L.B. 2000. *Laboratory Desain and Investigation of Proportion of Bituminous Composite Containing Waste Recycled Plastic Aggregate Replacement, CIB Symposium on Construction and Environment Theory into Practice, Sao Paulo, Brazil modified bitumen using fluorescent microscopy and conventional test methods*. *Journal Hazardous Materials* 150: 424-432.
- Sukirman, S. 1999. *Perkererasan Lentur Jalan Raya*. Nova, Bandung. 246 hlm.
- Sukirman, S. 2016. *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional, Bandung. 167 hlm.
- Y.G, Fenny Putri., dkk. 2013. *Evaluasi Kinerja Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Gradasi Dari Australia, California (CalAPA) dan British (BS)*. *Jurnal Civitas Akademik*. Vol. Tahun 2013.
- Universitas Lampung. 2019. *Panduan Praktikum Pelaksanaan Perkerasan Jalan (PPJ)*. *Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung*. Bandar Lampung.
- Universitas Lampung. 2021. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Unila Offset. Bandar Lampung.